1re Année N° 6 Décembre 1934

ANNALES DE PHYSIQUE DU GLOBE DE LA FRANCE D'OUTRE-MER

(Météorologie, Séismologie, Magnétisme terrestre, Océanographie, Volcanologie, Hydrologie)

Paraissant tous les deux mois

LIBRARY JAN 31 1935 WEATHER BUREAU

SOMMAIRE

Etudes hydrologiques dans les Colonies françaises.
La Commission coloniale d'hydrologie scientifique.
Les eaux souterraines.
Sur les eaux souterraines en A. O. F.
Alimentation en eau aux colonies par sondages profonds.
Alimentation en eau de la ville de Zinder.
Recherches d'eaux souterraines par les procédés géophysiques
Les eaux superficielles.
Les sources du plateau de Zagnanado (Dahomey).
Passé du Niger Sahélien.
Les problèmes du débit du Niger.
Sur la capture du Logone par la Bénoué.
Les communications Logone-Bénoué.
La répartition de la pluie entre le Sahara Soudanais et la Réunion.
Notes et informations.
Bibliographie.

A 15

PARIS Ve
LAROSE ÉDITEUR
11, RUE VICTOR-COUSIN

Prix du Numéro : 6 francs

ANNALES DE PHYSIQUE DU GLOBE DE LA FRANCE D'OUTRE-MER

LAROSE, Éditeur, 11, Rue Victor-Cousin, PARIS (Ve)

Téléph. : Odéon 32-70

PRIX DE L'ABONNEMENT ANNUEL

(6 numéros)

FRANCE ET COLONIES FRANÇAISES	35 francs.
ETRANGER	40 francs.

Les abonnements sont payables d'avance à la souscription. Chaque changement d'adresse doit être accompagné de 1 franc en timbres-poste.

Tous droits de reproduction réservés

Les Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer sont publiées sous les auspices du *Conseil de Perfectionnement des Services de Physique du Globe des Colonies*, et sous la direction de M. Henry Hubert, Inspecteur Général du Service Météorologique Colonial.

Chaque numéro contient des mémoires originaux, une chronique des questions de Physique du Globe intéressant les Colonies françaises et une revue bibliographique.

Les Annales de Physique du Globe de la France d'Outre-Mer résument les recherches et observations faites par les météorologistes coloniaux et présentées dans les publications locales ; elles abordent en outre soit des études spéciales n'ayant pu trouver place dans ces publications, soit — et cela de préférence — des travaux d'ensemble concernant des groupes ou la totalité de nos territoires extérieurs. Elles se proposent de faire ressortir la variété et la nouveauté des recherches de Physique du Globe entreprises dans nos possessions lointaines et de réaliser une présentation synthétique des questions, considérées dans le cadre très vaste de notre domaine colonial.

Les numéros de l'année 1934 sont publiés à l'aide de subventions de la Fondation Loutreuil (Académie des Sciences) et de l'Académie des Sciences Coloniales.

PRINCIPAUX ARTICLES A PARAITRE EN 1934

N° 1. — Cartes météorologiques de l'Ouest africain.
Nos 2 et 3. — Etude comparative des climats des Colonies françaises.
N° 4. — Les cyclones et typhons dans les Colonies françaises.
No 5. — Les dernières éruptions volcaniques des Colonies françaises.
N° 6. — Etudes hydrologiques dans les Colonies françaises.

La Commission coloniale d'hydrologie scientifique

Il est naturel que toute colonisation, à ses débuts, se préoccupe peu des questions d'hydrologie scientifique, et même d'hydrologie tout court. Les eaux du pays qui vient d'être occupé sont tout d'abord récupérées ou utilisées par les Européens dans les mêmes conditions que par les indigènes, et pour des fins très immédiates.

Peu à peu, cependant, les exigences se multiplient. Des eaux d'alimentation, de plus en plus pures, sont demandées en quantités de plus en plus grandes, puis l'utilisation des voies d'eau pour les transports ne tarde pas à être réclamée. Plus tard on songe à faire produire de la force motrice par les chutes d'eau, à aborder les multiples questions de l'hydraulique agricole, etc. Si bien que, dans les colonies les plus évoluées, les problèmes relatifs à la recherche et à l'utilisation de l'eau finissent par occuper une place considérable.

Il n'est pas douteux que la solution de tous ces problèmes relève de l'art de l'ingénieur, mais chacun d'eux comporte, avant même l'élaboration des avant-projets, toute une série de mesures, d'études et d'essais forts délicats et d'autant plus longs dans les régions tropicales que le régime alterné des hivernages et des saisons sèches entraîne de grosses variations dans le volume des masses d'eau utilisables.

En général, ces mesures, ces études et ces essais, ne sont effectués aux colonies qu'autant qu'ils conduisent à des applications susceptibles d'être réalisées à bref délai, et, jusqu'à ces dernières années, la documentation, accumulée à l'occasion de chaque cas particulier, restait dans des dossiers d'archives. Elle risquait d'y demeurer ignorée de ceux qui avaient des travaux semblables à effectuer, sinon dans la colonie même, du moins dans les autres possessions.

A cette absence de documentation intercoloniale, si l'on peut dire, venait s'ajouter l'absence — ou l'insuffisance — d'une documentation émanant de la métropole et de l'étranger. Enfin s'il a bien existé de tout temps, en France, des personnalités à qui l'on pût s'adresser pour demander des avis sur certains points de détail délicats, il n'y avait pas, dans la métropole, d'organisme spécialisé dans les questions d'hydrologie coloniale, susceptible aussi bien de formuler des avis que d'entreprendre ce qu'on peut appeler des études au second degré — c'est-à-dire celles qui ne peuvent être poursuivies directement dans la colonie, mais seulement dans la métropole, en en tirant parti d'observations effectuées dans plusieurs territoires.

C'est en lui signalant ces lacunes, que le Ministre des Colonies a demandé en 1929, au Comité National français d'hydrologie scientifique, de lui apporter sa collaboration.

Celui-ci constitua alors une Commission coloniale d'hydrologie scientifique dont les attributions sont précisément : de se tenir au courant des travaux poursuivis aux colonies ; de proposer au Ministre la divulgation dans notre domaine colonial d'observations ou de résultats acquis, soit sur le territoire national, soit à l'étranger ; de donner son avis sur les questions de détail qui lui sont soumises ; de suggérer certaines recherches d'intérêt général ; d'entreprendre enfin toutes les études susceptibles d'apporter la solution de grands problèmes coloniaux d'hydrologie scientifique.

Cette commission fonctionne au Ministère des Colonies depuis juillet 1929. Son président est M. l'Inspecteur Général honoraire Diénert, Secrétaire général de l'Association internationale d'hydrologie scientifique. Les principales questions qu'elle a eu à examiner jusqu'ici sont les suivantes :

Eaux souterraines de l'A. O. F. ;

Recherche des eaux souterraines pour les procédés géophysiques ;

Rhabdomancie ;

Phénomènes de capture ;

Débits solides et liquides des fleuves coloniaux ;

Relations entre la pluviosité et les crues ;

Condensations occultes ;

Hydrogenèse des eaux, cycle des eaux en Afrique ;

Recherche d'un type pratique de puits au Sénégal ;

Etude en avion des régions humides au Sahara et au Soudan ;

Nivellement de précision dans la région de Matam ;

Prévision des pluies à longue échéance ;

Puits Knappen ;
Evaporation ;
Analyse des niveaux du Nil et du Sénégal, etc.

Parmi les études spéciales poursuivies par la commission, il faut citer une mission de recherches des eaux souterraines, faite en Algérie en 1930, en accord avec des Sociétés de prospection géographique.

La Commission est susceptible de faire bénéficier ses correspondants de la documentation de l'Association internationale d'hydrologie scientifique.

Il est important de noter que, parmi ces correspondants, elle ne comprend pas seulement les administrations, mais encore tous les particuliers, qui peuvent s'adresser directement à elle et lui demander des avis. Elle reste toutefois un organe purement consultatif et n'intervient jamais dans les opérations poursuivies aux colonies.

H. H.

Les eaux souterraines

Sur les eaux souterraines en Afrique Occidentale Française

De toutes nos possessions tropicales, l'A. O. F. est celle qui, jusqu'à présent, semble avoir fait l'objet du plus grand nombre d'études relatives à l'hydrologie.

Il y a naturellement très peu de travaux d'ensemble. Ceux qu'on connaît ont fait ressortir que l'abondance des eaux souterraines était déterminée par deux éléments. D'une part, la répartition des pluies dans le temps laquelle est, en gros, fonction de la latitude, d'autre part, la constitution géologique. Les terrains calcaires sont, à latitude égale, beaucoup moins pourvus que les autres, aussi bien sous le rapport des eaux superficielles que souterraines. On examinera ici deux régions de l'A. O. F., particulièrement intéressantes au point de la répartition des eaux souterraines.

I. — La colonie du Sénégal

Parmi les régions calcaires en A. O. F. figure la colonie du Sénégal qui, jusqu'à présent, a seule été examinée dans son ensemble. Les résultats généraux obtenus sont les suivants :

1° Sur une même verticale, les eaux souterraines peuvent s'observer à des niveaux différents ;

2° La surface qui coïncide avec le niveau (non continu) des eaux les plus voisines du sol a une allure assez tourmentée. Dans la partie centrale de la colonie, elle peut s'abaisser à une altitude de plus de 50 mètres au-dessous du niveau de la mer ;

3° La colonie est bordée par une ceinture d'eaux libres (Sénégal, Falémé, Gambie, Océan Atlantique). Par contre, dans l'intérieur, il n'y a plus d'eaux libres — sauf quelques lacs ou mares. Si d'un point quelconque de cette ceinture on se dirige vers l'intérieur, on constate que le niveau — encore une fois non nécessairement continu — des eaux dans les puits, après s'être relevé légèrement, s'abaisse ensuite de plus en plus jusque dans la partie centrale de la colonie ;

4° Le lit du fleuve Sénégal et les eaux souterraines de sa vallée représentent une zone d'eaux relativement élevées puisque, de part et d'autre, le niveau des eaux souterraines s'abaisse, aussi bien dans la colonie de la Mauritanie que dans celle du Sénégal ;

5° La colonie du Sénégal au nord de la Gambie reçoit des précipitations annuelles, qui sont de l'ordre de 250 à 750 millimètres.

Ces eaux disparaissent très rapidement dans le sol, et comme le niveau des puits prouve qu'elles ne s'y accumulent pas indéfiniment, on ne sait pas comment elles sont évacuées. Cette évacuation n'est d'ailleurs pas des plus simples à imaginer, puisqu'il s'agit souvent d'eaux qui sont au-dessous du niveau de la mer. On a pensé que ces eaux étaient restituées à l'atmosphère, surtout par évaporation, par les végétaux, après avoir été ramenées au voisinage de la surface par capillarité. On a supposé aussi que l'évacuation se faisait dans la mer, en

profondeur. La question n'est pas tranchée, cependant une hypothèse sera envisagée ci-dessous.

6° Il existe dans la colonie du Sénégal des eaux artésiennes, non jaillissantes. On les observait autrefois quand on atteignait les puits profonds (en général plus de 70 mètres). Le plus souvent les eaux remontent jusqu'à une assez faible distance de la surface du sol.

7° Des forages profonds — 200 mètres et plus — ont permis de mettre en évidence l'existence de niveaux profonds, généralement riches en eau, et susceptibles d'atteindre un débit important. Ces eaux sont artésiennes, mais non jaillissantes. Elles remontent pratiquement au même niveau que celle des niveaux moyens, ce qui semble indiquer qu'elles ont une origine analogue, sinon identique. Les niveaux profonds paraissent être ceux où se concentrent les eaux d'infiltration. Comme elles sont captives et sous une pression élevée, elles peuvent, grâce à cette pression, être évacuées partiellement à la mer. On trouverait là l'explication de l'anomalie, signalée plus haut, des eaux de pluie s'infiltrant jusqu'à un niveau beaucoup plus bas que celui de la mer et ne s'accumulant pas indéfiniment dans le sol.

Ces eaux souterraines profondes paraissent susceptibles de fournir un gros appoint pour l'alimentation en eau. Toutefois elles ont aussi souvent l'inconvénient d'être fortement minéralisées.

En dehors des observations générales ci-dessus, certaines régions du Sénégal ont fait l'objet d'études scientifiques de détail, celles-ci poursuivies notamment en vue de l'alimentation en eau. Parmi les régions étudiées, celles au voisinage de Saint-Louis et surtout de Dakar ont fait l'objet de travaux importants.

II. — La partie méridionale du la colonie du Niger

La constitution lithologique de cette région, partiellement calcaire, vers l'ouest, est, comme on sait, fort complexe : granites et roches associées, schistes, quartzites, grès, sables calcaires, marnes, argiles.

A Niamey, il y a des eaux superficielles en permanence : celles du Niger. Il en est de même, évidemment, au voisinage de N'Guigmi (Tchad). Cependant, en Afrique Occidentale, on est, entre ces deux points à la latitude où les eaux superficielles permanentes n'apparaissent plus que d'une façon tout à fait exceptionnelle, soit à la faveur de sources, dont les eaux sont vite absorbées, soit à la faveur d'apports puissants, ayant leur origine dans les zones centrales ou méridionales de l'ouest africain : Sénégal, Niger, Bani, etc.

Il était intéressant de voir comment se comportaient dans cette zone de passage les eaux souterraines qui, toutes choses égales d'ailleurs, doivent se trouver plus rares ou plus profondément enfouies dans le sol, au fur et à mesure qu'on se déplace vers le nord, puisque l'alimentation par les pluies est alors de plus en plus faible.

Des relevés effectués par le Service des Travaux publics de la colonie du Niger permettent aujourd'hui d'avoir un premier aperçu de la question. Ces relevés fournissent en effet les distances du sol à l'eau pour les puits répartis, de l'est à l'ouest, entre Niamey et Nguigui, et du nord au sud, entre les 13e et 16e parallèles.

En portant sur une carte ces chiffres consignés, j'ai pu établir une carte par courbes (Fig. A) des distances de l'eau au sol.

Il est entendu que les points où l'eau arrive dans chaque puits ne sont pas les éléments d'une couche continue et si l'on n'y prenait garde, les courbes de niveau dessinées pourraient le faire supposer.

Mais ces courbes n'ont été dessinées que pour faciliter la lecture de la carte et permettre, autant qu'il se peut, de figurer l'allure des régions où les puits ont des profondeurs comparables.

On se rappellera aussi que cette carte n'est qu'un schéma et qu'elle ne saurait convenir à des recherches de détail : A défaut d'autres éléments l'échelle choisie l'indique clairement. Mais, ceci posé, il est possible d'examiner les caractères généraux de cette carte.

Le fait le plus intéressant est que la courbe des puits où l'eau est à moins de 20 mètres du sol dessine un golfe profond autour du Tchad et un autre près du Niger, tandis qu'elle descend assez bas en latitude entre ces deux régions. Un des éléments de cette particularité est évidemment le relief, mais il en est d'autres qui restent à mettre en évidence.

D'une façon générale, quand on se déplace vers le nord de la zone représentée, les puits deviennent profonds, d'abord d'une façon un peu progressive, un peu régulière, traduisant si l'on veut le déficit progressif des pluies, puis d'une façon très sporadique, tout en gardant une disposition par petites régions isolées.

Pour cette dernière répartition, différents facteurs entrent en jeu.

D'abord le relief, puisque, toutes choses égales

d'ailleurs, la distance du sol à l'eau augmente lorsque l'altitude croît et lorsque les abrupts sont plus marqués. Ensuite la constitution lithologique du sous-sol.

Ce dernier élément est extrêmement complexe. Si la nature, très variée, des terrains de surface, est actuellement connue, l'allure des couches, perméables et imperméables, en profondeur, leur extension, les solutions de continuité qu'elles présentent, etc., sont des questions de détail impossibles à résoudre sur des surfaces considérables, comme le sont celles examinées ici (de l'ordre de 36 degrés carrés).

Il ne saurait donc être question d'entreprendre une étude comparée — si intéressante soit-elle — entre la profondeur des puits et la constitution lithologique du sous-sol. Il reste évidemment plus simple de déterminer empiriquement la profondeur probable de puits à foncer, d'après les analogies avec les puits déjà existants, et c'est la raison pour laquelle la carte ci-contre, en dehors des problèmes théoriques qu'elle revèle, est susceptible de présenter quelque utilité pratique.

H. H.

Alimentation en eau aux colonies par sondages profonds

On a vu, dans les pages précédentes, à propos de la colonie du Sénégal, qu'il existait, en dehors des niveaux voisins de la surface, des niveaux profonds (de l'ordre de 200 mètres) et qu'il pouvait être avantageux d'y recourir pour l'alimentation en eau de certaines agglomérations.

Il est intéressant de noter que ce procédé de captage d'eaux profondes est actuellement en faveur, non pas seulement dans les pays français pauvres en eaux superficielles, comme le Sénégal, mais aussi dans des régions où ces eaux sont abondantes.

Les premiers essais effectués dans les colonies françaises — en dehors du Sénégal — semblent ceux réalisés à Saigon, puis dans d'autres localités de la Cochinchine.

On sait que dans cette colonie les eaux superficielles sont exceptionnellement abondantes : rivières, canaux, rizières, etc., et qu'en aucun endroit il n'y a de difficultés pour se les procurer par les procédés les plus simples et les moins onéreux. Mais du fait même de la densité de la population, ces eaux sont souvent polluées et impropres à la consommation tant qu'elles n'ont pas été soumises aux procédés d'épuration les plus perfectionnés.

Aussi a-t-on pensé que, plutôt de recourir à ceux-ci, il pouvait y avoir avantage à aller rechercher des nappes profondes protégées, par leur position même, contre tout danger de pollution.

Un nombre important de sondages plus ou moins profonds, ont été ainsi foncés à Saigon, à Cholon et en d'autres points de la Cochinchine (Bac-Lieu, Cogon, etc.). Ils ont atteint l'eau à des profondeurs de l'ordre de 40 à 200 mètres, et ont donné très souvent des débits extrêmement élevés (pouvant atteindre et dépasser parfois 200 m^3/h).

Aux avantages considérables que présentent ces sondages viennent s'opposer certains inconvénients : quelquefois un débit insuffisant, quelquefois aussi une minéralisation trop élevée soit en fer, soit en chlorure de sodium, rendant les eaux impropres à la consommation. Quoi qu'il en soit, il y a là une application d'autant plus heureuse des sondages profonds que ceux-ci, malgré leur nombre élevé, ne paraissent pas, du moins jusqu'à présent, se nuire mutuellement comme cela s'observe dans de très nombreuses régions (Touggourt, environs de Paris, etc.). Il est probable, en effet, que l'alimentation des nappes profondes est facile dans une région dont la pluviosité est élevée.

Sous une latitude plus basse encore que celle de la Cochinchine, à la Côte d'Ivoire, la méthode des sondages profonds a été appliquée avec succès. Il s'agissait de l'alimentation en eau de la nouvelle capitale de la colonie, Abidjan, sur la lagune Ebrié.

Plusieurs projets avaient été établis successivement. Le premier en date consistait à foncer un nombre suffisant de puits jusqu'à la nappe phréatique et à pomper l'eau par des procédés ordinaires.

A ce projet s'est substitué celui tendant à capter le marigot de Cocody, puis celui concluant au captage de la rivière Banco, et enfin celui préconisant le fonçage d'une batterie de puits peu profonds dans

l'île de Petit-Bassam. C'est alors que, sur les conseils de M. Malavoy, Chef du service des Mines de l'A. O. F., un sondage profond a été foré à Abidjan. A la profondeur de 160 mètres, il a atteint une nappe qui, d'après les premiers renseignements fournis, donnerait en grande abondance de l'eau potable. En présence de ce résultat, la décision aurait été prise de recourir exclusivement au procédé des sondages profonds pour l'alimentation en eaux de la ville.

Si l'on tient compte de ce fait que des résultats semblables ont été obtenus dans d'autres régions (Tunis, par exemple), on voit qu'il y a là un procédé de captage qui pourrait être plus ou moins généralisé, étant entendu toutefois que les prélèvements faits en chaque endroit sur la nappe interessée n'aboutissent pas à un appauvrissement de celle-ci.

H. H.

Alimentation en eau de la ville de Zinder (Fig. C)

Le poste de Zinder en Afrique Occidentale française (Colonie du Niger) est situé sur une colline granitique à l'altitude de 445 m.

Le poste domine toute la région environnante d'au moins de 10-15 mètres. Les granites frais et non décomposés affleurent un peu partout, sortant des sables superficiels.

Puits existants

La population de Zinder comprend près de 100 Européens, 200 tirailleurs et 10.000 indigènes.

La population européenne est alimentée par les puits situés dans la région de Zengou. Chaque Européen reçoit actuellement près de 60 litres par jour fournis par l'administration, en plus de cela on a souvent recours à l'eau de puits indigènes de la région de Zengou, Birni, Kasseni, etc.

Les puits destinés à la population civile, au nombre de 10, sont placés à 1/2 kilomètre Nord de Zengou, près de la route d'Agadez. Ils atteignent l'eau entre 22 et 25 mètres. L'ensemble donne un débit journalier de près de 8 mètres cubes.

Les puits destinés aux militaires, au nombre de 8, sont placés :

1° A l'Est de Zengou : 6 puits.

Ils atteignent l'eau à 21-23 mètres. Le débit journalier est de près de 4 mètres cubes ;

2° Au Nord de Zengou, près des puits pour les civils : 2 puits. Ils atteignent l'eau à 22 m. 50. Le débit journalier est de près de 4 mètres cubes.

Les indigènes possèdent leurs puits :

1° Au Nord de Zengou ;

2° A Birni.

Les puits de Zengou, situés à 1/2 kilomètre Est des puits administratifs, atteignent l'eau à 20 mètres. L'ensemble ne doit pas dépasser probablement 25 à 30 mètres cubes par jour.

A Birni, les puits atteignent l'eau à 9-10 mètres. Un des puits donne près de 7 mètres cubes et l'autre près de 9 mètres cubes.

Il existe encore, près de Zengou et à 200 mètres vers le N.-E., les puits destinés pour l'alimentation des jardins d'administration et du bataillon et quelques puits indigènes. Ils atteignent l'eau entre 22 et 25 mètres.

Au Sud et à l'entrée de Zengou, il existe encore 2 puits dont les débits journaliers ne doivent pas être importants vu la limitation d'usage. Ce sont les puits de la Mission protestante et de la Mission Dufour. Ils atteignent l'eau à 25 mètres.

Au Sud de Birni, au-delà des anciens remparts, il existe une dizaine de puits indigènes creusés avant l'occupation européenne. Ils contiennent de l'eau natronée et ne sont utilisés par les indigènes qu'avant l'hivernage, quand l'eau de puits à Birni commence à manquer. Ces puits sont profonds de 20 mètres et, au moment où je les ai mesurés, la hauteur d'eau était de 10 mètres.

Le puits du champ d'aviation profond de 22 m. 50 et arrêté dans le granite décomposé, mais consistant, donnait avant son éboulement 36 litres par jour.

On a essayé de creuser, il y a quelques années, sur le plateau de Zinder et près du poste, des puits au Sud du Cercle, près du Trésor, près de l'Ecole. N'ayant pas rencontré l'eau, ces puits ont été arrêtés dans les granites entre 6 et 14 mètres.

Enfin, il faut mentionner encore quelques puits indigènes près du village Kasseni, parce que souvent,

surtout vers la fin de la saison sèche, les Européens envoient chercher l'eau à Kasseni. Ces puits atteignent l'eau entre 14 et 16 mètres. Elle est légèrement natronée. Je ne possède pas de renseignements sur les débits de ces puits.

Infiltration

La quantité d'eau infiltrée est très variable et dépend, en grande partie, de l'aspect physique du pays, des conditions géologiques et surtout de la perméabilité de la région d'infiltration.

On admet généralement que sur 100 mètres cubes d'eau des pluies tombées, 25 mètres cubes seulement s'infiltrent et servent à alimenter les eaux souterraines.

Depuis 1905, Zinder reçoit annuellement entre 200 et 600 m/m. d'eau de pluies.

Prenons le cas le plus défavorable : celui de l'année 1924, quand Zinder était le moins favorisé en quantité d'eau de pluies. En 1924, Zinder reçu 230,4 mm. d'eau de pluie entre les mois de mai et de septembre.

En supposant 75% perdus (évaporation, ruissellement, retenue par les plantes, etc.).

$\frac{0 \text{ m. } 23}{4} = 0$ m. 05 environ *quantité d'eau infiltrée.*

Sur 1 kilomètre carré (1.000.000 de mètres carrés), il s'était infiltré à Zinder, en 1924, le cas le plus défavorable, je le répète, pour alimenter les eaux souterraines : 50.000 mètres cubes.

Donc, 1 kilomètre carré, en le supposant homogène au point de vue géologique et perméable, avait emmagasiné, en 1924, 50.000 mètres cubes susceptibles de constituer une réserve d'eau pouvant être extraite par les puits.

Répartis sur une année, ces 50.000 mètres cubes donneraient un débit journalier d'environ 137 mètres cubes. *C'est le débit théorique journalier de 1 kilomètre carré à Zinder*, en prenant le cas le plus défavorable et en supposant ce kilomètre carré uniforme au point de vue géologique et perméable à la surface. Mais ce n'est pas le cas pour Zinder.

Zones défavorables. — Les grandes surfaces sont occupées, en réalité, par les affleurements de granites et de quartzites qui sont, pratiquement, imperméables à l'eau et ne la laissent s'infiltrer et séjourner qu'accidentellement par les cassures et les diaclases. Leur perméabilité et leur capacité de retenue sont pratiquement nulles.

Par contre, ils constituent un plan de drainage des eaux suivant leurs pentes et versants jusqu'aux régions où l'accumulation d'eau pourrait se produire dans des conditions favorables.

Si le poste même de Zinder, situé sur une colline granitique, est placé dans les conditions défavorables, les conditions favorables existent au voisinage.

Zones favorables. — Après la création du massif granitique actuel et la transformation des grès primitifs de la région en quartzites, c'est la destruction des roches affleurantes, par les agents atmosphériques, qui a été commencée.

Cette destruction a été très intense et il est probable que, dans le temps, la région a été beaucoup plus favorisée en précipitations atmosphériques qu'elle ne l'est actuellement, étant donné la grande étendue et l'épaisseur de ces formations détritiques. En plus le granite, tant qu'il est frais, ne peut pas emmagasiner et contenir l'eau, cela change s'il commence à passer à une arkose. Dans ce cas de décomposition sur place et sans transport notable, on peut avoir des niveaux pouvant contenir de l'eau.

Le poste de Zinder, placé sur une colline constituée par les granites non décomposés, est placé dans les conditions défavorables. La seule formation dans laquelle on peut s'attendre à trouver l'eau, ce sont les sables superficiels ou bien les cassures accidentelles.

Les couches de sables superficiels peuvent, en principe, donner lieu au niveau hydrostatique sur la colline à leur contact avec les granites imperméables, mais il est fort probable que ce niveau de granites sert de plan de drainage au profit des zones plus basses renfermant les roches détritiques *a priori* favorables pour l'accumulation de l'eau.

En ce qui concerne les cassures, cela ne peut avoir lieu qu'accidentellement et le débit ne peut être qu'assez limité.

Les bassins d'absorption et de réception. — Il ne fait pas de doute que les granites de Zinder constituent un niveau de drainage de tous les côtés du poste vers les régions plus basses. En particulier les écoulements sont nets vers l'Ouest et vers l'Est.

Les bassins d'absorption sont :

Vers le Nord : plaine de Zengou ;
Vers l'Est : Birni, Est de Birni, Xania, Mirria.
Vers l'Ouest : Kasseni et Tirmini.

Vers le Sud, on peut dire qu'il n'en existe pas puisque le plateau se continue avec les affleurements granitiques abondants. On peut trouver de petits bassins de réception seulement accidentellement, comme c'est le cas pour les anciens puits de Birni.

C'est par la distribution de ces bassins d'absorption que sont commandés les emplacements des bassins de réception et, par conséquent, les nappes d'eau.

En résumé :

1° La colline où est situé le poste ne renferme que peu ou pas d'eau, draînée dans les zones plus favorables à son accumulation. *Donc, il faut chercher l'eau en dehors du poste.*

2° Toute la région Sud, où les affleurements granitiques abondent, ne peut fournir l'eau qu'accidentellement et en quantité limitée ;

3° Les zones favorables pour les emplacements des puits sont :

a) Toute la région Nord (plaine de Zengou), constituée par les roches détritiques et où les affleurements granitiques sont rares ;

b) La région Est (Birni) et à l'Est de Birni, suivant le petit chenal qui s'ouvre entre les affleurements des quartzites dans une large dépression vers les collines à l'Est ;

c) La région de Kasseni. On y est frappé par la présence des nombreux palmiers qui, d'après mes observations, poussent au Niger uniquement aux endroits où l'eau n'est pas profonde ;

d) La région au N.-E. de Zinder et au delà des collines quartzeuses.

Diverses nappes de Zinder

On peut distinguer, au voisinage du poste, plusieurs nappes qui sont souvent isolées et n'ont pas de communications entre elles. Ce sont les nappes phréatiques.

1. *Nappe de Zengou.* — Niveau hydrostatique entre 20 et 25 mètres, moins vers le N.-E. ; les puits traversent toute une série de roches détritiques :

Sables superficiels : 1 à 2 mètres.
Cailloutis de latérite : 20 à 50 cm.
Arkose et argiles : 20 mètres.
Arkoses tendres : l'eau.

Je ne possède pas de coupes complètes pour les puits. L'eau est bonne à boire. Il est à signaler que sur les 2 puits de la Mission Protestante à l'entrée de Zengou, un donne l'eau natronée et l'autre, à 20 mètres de distance, de l'eau douce.

2. *Nappes de Birni.* — Niveau hydrostatique à 9-10 mètres. Les puits sont forés dans les sables superficiels et atteignent, au fond, les granites. Ces puits s'éboulent toujours. L'eau est douce. Nappe isolée vers le N., le S. et l'W. par les affleurements granitiques et vers le N. par les quartzites.

3. *Nappe de la région de Kasseni.* — Niveau hydrostatique à 15 mètres, moins bas vers l'Est. Les puits traversent les roches détritiques. L'eau est légèrement natronée.

4. *Sud de Birni.* — Niveau hydrostatique à 15 mètres probablement. L'eau est natronée. Ce niveau communique avec celui de Kasseni. Pas de renseignements sur la nature des roches traversées.

5. *En bas du camp des tirailleurs.* — Le niveau hydrostatique est assez irrégulier, mais il ne s'agit pas de « filons ». La variation de profondeur à laquelle on trouve l'eau résulte de la variation du niveau des granites imperméables du soubassement et de l'épaisseur des sables et des arkoses.

L'eau est natronnée ; le niveau hydrostatique compris en moyenne entre 5 et 10 mètres. Nappe serrée entre celle de Zengou par les affleurements des granites. Le serrage vers le Nord n'étant pas complet, cette nappe doit communiquer probablement avec celle de Zengou.

L'eau salée. — A Zinder, il y a pas mal d'eau impropre à la boisson. Comme on le sait, la composition chimique de l'eau est déterminée par la nature des roches qu'elle traverse. Cela dépend de multiples conditions locales et il est parfois assez difficile de dire d'avance *a priori* si l'eau sera bonne ou non à la consommation. Dans le cas particulier de Zinder, les eaux natronées semblent être assez localisées. Les granites alcalins de Zinder, en se décomposant, peuvent libérer Na Cl qui passe en dissolution. Il est donc assez prudent d'éviter à placer les puits au voisinage des massifs granitiques en décomposition et chercher de préférence les zones constituées par une certaine épaisseur de sables ou de terrains détritiques.

Cas particulier du camp des tirailleurs. — Nappe indépendante des autres, séparée de celle de Birni par les granites et de celle de Zengou par les granites et quartzites qui arrivent presque à se rejoindre.

Les communications doivent se produire surtout vers le Nord ; vers le Sud, le massif granitique semble fermer cette nappe complètement. Peut-être bien qu'il s'agit d'une grande poche. La charge en Na Cl tient probablement à la nature particulière des arkoses.

En résumé :

1. La nappe de l'eau natronnée est localisée.

2. L'épaisseur des roches détritiques est réduite.

3. Elle se trouve au voisinage des granites en décomposition ; l'eau provient de ces granites en descendant dans la plaine et a assez de temps pour se charger en Na Cl, en les traversant.

Zone de Kasseni. — Sensiblement la même chose, la différence est qu'on n'a pas de quartzites. Toutes les autres conditions se trouvent réalisées comme précédemment. Les communications de cette nappe avec les autres sont à étudier.

Anciens puits de Birni. — Les anciens puits de Birni se trouvent dans une situation analogue :

1° La nappe est localisée, étant serrée par les granites ;

2° L'épaisseur des roches détritiques est réduite ;

3° Elle provient des granites en décomposition.

En résumé, il est à souligner que l'allure du massif granitique et la distribution des roches détritiques étant assez irrégulières et capricieuses, la distribution de l'eau en dépend.

On ne peut parler de nappes régulières que pour celles de Zengou, celles de l'Est de Birni vers Mirria, et celle de l'Ouest, vers Tirmini. Toutes les nappes sont phréatiques et en liaison avec le régime des pluies. C'est dans ces zones qu'un kilomètre carré peut donner un débit théorique journalier de 137 mètres cubes. Il reste à déterminer exactement les causes de la présence de l'eau salée. Or, on ne peut y parvenir qu'en faisant les observations et les analyses régulières.

N. Reformatsky,
Ingénieur-Géologue.

Recherches d'eaux souterraines par les procédés géophysiques

Les méthodes de prospection géophysique qui se sont développées depuis une dizaine d'années ont été d'abord utilisées pour les recherches minières. Cependant, étant donné l'importance des problèmes d'hydrologie, certaines compagnies n'ont pas tardé à faire un effort pour étendre l'application de leurs procédés à ce genre de problème.

Naturellement, au début, les géophysiciens ont eu le désir de découvrir directement la substance utile : minerais ou nappes d'eau. Ce n'est que plus tard qu'ils en sont venus à des méthodes indirectes applicables au cas où la matière que l'on recherche n'a pas de propriétés physiques assez remarquables pour être discernable séparément au moyen de mesures effectuées depuis la surface du sol.

Tandis que les sourciers et autres radioesthésiens invoquent, pour justifier leurs conclusions, des radiations inconnues et se mettent presque immédiatement, dans toutes publications, en conflit avec la science classique à laquelle ils n'empruntent que des mots savants qu'ils détournent souvent d'ailleurs de leur sens véritable, les géophysiciens eux, basent leurs efforts sur cette science classique.

Par les champs gravifique et électromagnétique dont s'entoure un élément quelconque de matière, celui-ci peut influencer à distance des appareils de mesure et, de l'action ainsi produite, le géophysicien essaiera de déduire la position et les propriétés de cet élément de matière. Les champs utilisés peuvent être naturels ou, au contraire, artificiellement provoqués. Les procédés de prospection géophysique se répartiront ainsi en cinq grandes familles.

D'une part trois méthodes statiques :

Gravimétrie ;
Magnétométrie ;
Polarisation spontanée,

seront basées sur la mesure des champs naturels :

Champ de pesanteur ;
Champ magnétique ;
Champ électrique.

D'autre part, deux méthodes dynamiques étudieront respectivement les modifications du champ d'accélération et du champ électromagnétique produites artificiellement par la mise en action d'un organe émettant des vibrations mécaniques ou électromagnétiques. Nous aurons ainsi, d'une part, la sismométrie et, d'autre part, tous les procédés électriques et électromagnétiques, parmi lesquels il

faut mentionner en première ligne la méthode des résistivités de MM. Schlumberger.

Pour la recherche de l'eau, on doit penser tout de suite à la prospection électrique. En effet, une roche quelconque, cristalline ou sédimentaire, bien desséchée à l'étuve, se montre parfaitement isolante. Il n'y a d'exception que pour quelques sulfures métalliques qui intéressent la prospection minière et non pas les recherches d'eau.

Les différents terrains ne conduisent donc le courant électrique qu'à la faveur de l'eau dont ils sont imprégnés. Ils sont donc d'autant plus conducteurs qu'ils sont plus riches en eau.

Tout de suite se présente une première difficulté. A y regarder de plus près, ce n'est, en effet, pas l'eau qui imbibe les roches qui conduit le courant. Celui-ci est transporté par les ions que contient l'eau, ions qui proviennent de la dissociation des sels dissous. Ainsi donc, pour une même quantité d'eau par mètre cube, une roche sera d'autant plus conductrice du courant électrique que cette eau sera de plus mauvaise qualité, c'est-à-dire plus riche en sels. On pressent donc que la recherche géophysique directe de l'eau trouvera son champ d'application surtout dans les régions semi-désertiques où la population est moins exigeante sur la qualité de l'eau.

Autre difficulté : deux roches peuvent contenir par mètre cube la même quantité d'eau sans être pratiquement du même intérêt. L'une des roches sera formée d'éléments à gros grains entre lesquels l'eau circule aisément ; tel sera le cas des sables et des conglomérats ; et un puits creusé dans ces terrains permettra de drainer l'eau qu'ils contiennent, sinon en totalité, du moins dans une proportion très importante. L'autre roche, au contraire, sera à grains très fins et, entre ces grains, l'eau sera retenue par des forces de capillarité. Tel est le cas d'une argile. La perte de poids que celle-ci subit à l'étuve prouve qu'elle contenait une grande quantité d'eau. Mais un puits creusé dans cette argile n'eût pas permis de drainer et d'utiliser cette eau.

Ainsi, deux terrains ayant même richesse en eau, c'est-à-dire de conductibilités électriques égales, ne pourront pas être distingués par des mesures électriques. La géophysicien ne donnera de renseignements que sur la quantité totale d'eau contenue dans la roche et non pas sur la quantité extractible.

Malgré ces difficultés, la recherche directe de l'eau par prospection électrique présente assez d'intérêt, dans un certain nombre de cas, pour que nous en fassions mention ici. Le principe de la méthode est le suivant. Une source S (fig. D 1) envoie du courant continu dans le sol par deux prises de terre d'émission, les électrodes A et B. Un potentiomètre mesure la différence de potentiel qui en résulte entre deux prises de terre de réception, les sondes M et N.

Sur la ligne de réception est embroché un potentiomètre auxiliaire qui compense la différence de potentiel due à la polarisation spontanée du sol.

Supposons-nous en plaine sur un sol horizontal, pour ne pas avoir à nous embarrasser de corrections topographiques accessoires.

Faisons pour un instant une hypothèse de plus : supposons le sous-sol homogène et de résistivité ρ. Alors le courant I débité dans le sol par l'anode aurait pour effet de porter le point M au potentiel :

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \quad \frac{1}{AM}$$

Les théorèmes de superposition des états d'équilibre nous autorisent à écrire que, dans le quadripôle de mesures complet AMNB, le courant I dans la ligne d'émission produira aux bornes de la ligne de réception une différence de potentiel X donnée par :

$$X = \rho \frac{I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right]$$

de la forme :

$$\rho = \frac{KX}{I}$$

le coefficient K ou « longueur caractéristique « du quadripôle ayant la dimension d'une longueur.

Revenons alors au terrain réel, hétérogène, avec notre quadripôle de longueur caractéristique K et une intensité d'émission I, soit X la différence de potentiel aux bornes de la ligne de réception. Nous donnerons à l'expression :

$$\xi = \frac{KX}{I}$$

le nom de résistivité apparente, justifié par le fait que cette grandeur se réduit à la résistivité vraie si le sous-sol devient homogène.

Si, laissant le centre O du quadripôle fixe, nous faisons croître progressivement la longueur 2 L de la ligne d'émission, le courant d'émission va pénétrer de plus en plus profondément dans le sous-sol. C'est une investigation à profondeur croissante et l'opération ainsi réalisée est un sondage électrique : les résultats expérimentaux sont concrétisés par la courbe :

$$\xi = F(L).$$

L'interprétation géologique est basée sur le prin-

cipe fondamental suivant, largement confirmé par la pratique : La résistivité électrique est un fossile de faciès. Tant qu'un horizon géologique conserve la même composition minéralogique et le même degré de métamorphisme, il garde même résistivité électrique. Donc, deux phases distinctes dans la mise en valeur des résultats.

Il faudra tout d'abord s'efforcer de passer des résultats de mesures en surface à la connaissance de la distribution des résistivités dans le sous-sol.

Puis, ayant ainsi divisé le sous-sol en régions caractérisées chacune par une valeur donnée de la résistivité, il faudra traduire ce hiéroglyphe électrique en âges géologiques : on s'aidera des coupes données par les sondages, s'il en existe, et des affleurements. On sera ainsi souvent amené à faire déborder largement la zone de mesures du domaine dont l'étude est proposée.

Pour la première partie de l'interprétation (recherche de la loi de distribution de ρ), on opère normalement par comparaison des sondages électriques expérimentaux avec des sondages électriques théoriques, résultant du calcul exact des distributions potentielles relatives à de nombreuses configurations du sous-sol. Pour les configurations qui ne se prêtent pas au calcul, c'est-à-dire quand on ne sait pas intégrer l'équation du potentiel pour les conditions imposées, on a recours à des mesures de laboratoire sur modèles réduits. Bref, la première partie de l'interprétation se fait par référence à un atlas de cas calculés ou expérimentés. Ainsi les médecins interprètent les radiographies par comparaison avec un atlas.

Voici un exemple de recherche directe d'une nappe aquifère. Il est relatif à des travaux faits par la « Société Géophysique de recherches minières » en 1930 dans le sud algérien, en présence des délégués de la Commission d'Hydrologie coloniale officiellement mandatée par le Gouvernement Général de l'Algérie.

Le pays de Djelfa à Tilr'empt et à Guerrara est criblé par un nombre extrêmement grand de « dayas », c'est-à-dire de petits bassins fermés dont le diamètre peut atteindre un kilomètre et dont la forme est généralement arrondie. Ces régions déprimées ont une flore relativement abondante et beaucoup sont plantées de magnifiques betoums (pistachiers).

Gautier et Flamand voient dans chaque dayet un entonnoir de drainage souterrain, équivalent à un aven des Causses. C'est par les dayas que les eaux superficielles descendent à travers le terrain meuble Saharien pour s'accumuler sur le fond crétacé.

Une première expérience a été faite sur la dayet de Tilr'empt, au voisinage d'un puits au fond duquel la nappe d'eau turonienne avait été trouvée à 75 mètres de profondeur. Le sondage électrique obtenu est représenté sur la figure D 2. En abscisses sont portées les demi-longueurs L de la ligne d'envoi de courant, et en ordonnées les résistivités apparentes exprimées en Ω m. L'interprétation de ce diagramme a été faite par comparaison avec des cas calculés, soit pour la branche gauche de la courbe expérimentale, la courbe CH.1, $\mu_1 = 7$ représentée en trait mixte, et pour la branche descendante avec la courbe CH.1, $\mu_2 = 0$ en trait pointillé. On trouve en partant de la surface :

— Jusqu'à 6 mètres de profondeur, un terrain dont la résistivité est d'environ 65 Ω m et qui est constitué par les argiles de la dayet dans lesquelles plongent les racines des arbres. La résistivité de 65 Ω m est assez forte pour les argiles, mais s'explique parfaitement si l'on considère que les mesures ont été faites après une longue période de sécheresse.

— De 6 à 75 mètres de profondeur, un terrain sept fois plus résistant, c'est-à-dire présentant une résistivité de 400 à 500 Ω m. Il est évident que ce terrain est le calcaire turonien que l'on voit affleurer tout autour de la dayet.

— Ensuite un horizon plus conducteur qui provoque la baisse de la résistivité apparente. Cet horizon n'est autre que la nappe aquifère du turonien.

— Après celui-ci, la résistivité se reprend à croître, indiquant un nouveau terrain sec.

Ainsi, dans le cas de la dayet de Tilr'empt la nappe d'eau turonienne est directement discernable par mesures électriques faites à la surface du sol.

La figure D 3 représente un sondage électrique, exécuté dans la même région, sur la dayet Nekra, où il n'existe pas de puits. On voit que la baisse de résistivité apparente se produit ici pour une longueur de ligne d'émission plus grande qu'à Tilr'empt. Il faut donc en conclure que la nappe turonienne est plus profonde et une détermination quantitative permet de la situer à 90 mètres au-dessous de la surface du sol.

La recherche directe de l'eau dont nous venons d'avoir un exemple dans la région des dayas a pu être appliquée, depuis, dans bien des cas, toujours par l'école Schlumberger. Cependant, elle ne vaut que pour un certain nombre de nappes peu profondes,

et dès qu'on entend faire des recherches à quelques centaines de mètres au-dessous de la surface du sol, il ne faut pas espérer discerner séparément la nappe aquifère. Le géophysicien s'efforce alors de suivre un certain étage géologique présentant des propriétés physiques différentes de celles offertes par les terrains qui le recouvrent. L'interprétation des résultats des mesures permet de dresser une carte donnant la topographie souterraine de cet horizon repère. Si, par ailleurs, on a pu établir, par des études géologiques, une corrélation entre les horizons repères électriques et la nappe aquifère que l'on sait exister dans le sous-sol, il sera possible de déterminer la profondeur de cette nappe aquifère. La fig. D 4 représente un sondage électrique effectué à Guerrara, oasis du M'Zab. La résistivité apparente débute aux environs de 30 Ω m, le terrain affleurant est constitué par les grès rouges des Gours (Néogène Saharien). Bien que très secs, ces grès sont encore relativement bon conducteurs parce que la montée de l'eau par capillarité et son évaporation ultérieure, ont enrichi ces grès en sels.

Ensuite, la résistivité apparente croît rapidement et ce phénomène correspond à la présence, sous ces grès rouges, d'un horizon très résistant constitué par les calcaires sénoniens et turoniens du M'Zab.

Puis, la résistivité apparente se prend à décroître parce que, sous les calcaires précédents, se trouve un puissant horizon marneux qui représente le cénomanien.

L'interprétation du diagramme de la figure D4 permet de situer le toit du cénomanien vers 160 mètres de profondeur et sa base entre 350 et 400 mètres. Or, les géologues savent que, dans la région, le cénomanien repose directement sur les grès à dragées de l'albien et que cette dernière formation doit être gorgée de toute l'eau tombée entre l'oasis de Guerrara et la dorsale saharienne. Comme d'ailleurs Guerrara est à une hauteur bien inférieure à celle de cette dorsale (Guerrara n'est pas à 400 mètres d'altitude, tandis que Laghouat est à 751 mètres et Ghardaïa à 525 mètres au-dessus de la mer), on peut donc légitimement escompter qu'un forage poussé jusqu'à 400 mètres de profondeur donnerait, à Guerrara, un jaillissement artésien.

Raymond Maillet.

Les eaux superficielles

Les sources du Plateau de Zagnanado (Dahomey)

Géologie générale du plateau

Le plateau de Zagnanado est compris entre ceux de même nature d'Abomey, à l'Ouest, et de Ketou, à l'Est. Il est séparé de ces plateaux par les importantes vallées du Zou et de l'Ouémé. Ces deux cours d'eau se rencontrent à 25 kilomètres au sud de Zagnanado en formant un angle aigu (d'environ 45°). Au Nord, les limites du plateau sont moins nettes, mais on peut les considérer comme formées par la ligne de démarcation des formations gréseuses et latéritiques, avec la grande étendue des roches cristallines, surtout gneissiques, qui recouvrent une bonne partie du moyen Dahomey (1).

Le plateau de Zagnanado est formé par une plateforme cristalline ancienne, qui a été recouverte, en discordance, par des formations alluvionnaires et continentales à une époque beaucoup plus récente.

Des anciennes chaînes de montagnes, formées surtout par des roches métamorphiques, s'élevaient sur la presque totalité du Dahomey. L'érosion a nivelé toutes ces chaînes et transformé la région en pénéplaine.

Les derniers témoins de ces chaînes sont les collines granitiques ou gneissiques si fréquentes dans le moyen Dahomey (Monts de Savalou, Fitta, Dassa, Gonsoué, etc...

La mer, à l'époque éocène (commencement du tertiaire) venait baigner le sud du plateau de Zagnanado en formant une falaise qui, actuellement,

(1) Voir la carte géologique du Dahomey et Dépendances, par M. Henry Hubert, Paris 1908.

constitue l'abrupt méridional de ce plateau. Elle a formé un niveau de calcaire fossilifère, compris entre des formations lagunaires.

Quoique au Sud de Zagnanado ces formations soient cachées par les alluvions du Zou et de l'Ouémé, elles sont bien visibles sur la route de Kétou à Zagnanado. Sur la rive droite de l'Ouémé à Arlan, ce niveau est constitué par du calcaire fossilifère.

Cette plateforme cristalline a été, par la suite, recouverte par des sables transformés en grès souvent à ciment de kaolin et par des conglomérats à petits éléments. L'origine de ces éléments est bien difficile à expliquer. Les puits de Zagnanado et d'Abomey, après avoir traversé une épaisseur variable de terre de barre (formation continentale), rencontrent des sables ou des grès blancs tendres, quelquefois violacés, très rarement à gros éléments, et répartis uniformément sur tous les plateaux. Il est fort possible que ces sables et grès soient d'origine uniquement alluvionnaire, mais étant donnée leur grande régularité sur une zone fort étendue, on pourrait envisager, mais sans cependant l'affirmer, qu'ils sont d'origine marine ou lagunaire.

Les mêmes observations peuvent sensiblement s'appliquer à la région Nord du Dahomey (grès de Gaya ou du Niger), sauf en ce qui concerne la couverture en terre de barre.

Des mouvements orogéniques ont soulevé toute la région et ont accentué le tracé des cours d'eau, puis l'érosion a continué à approfondir les vallées du Zou et de l'Ouémé et à faire apparaître le soubassement cristallin. De même, de petits affluents de ces cours d'eau ont attaqué les bords du plateau et pu découper ces formations gréseuses, surtout au Nord.

La partie Sud de ce plateau est recouverte d'un épais manteau de terre de barre.

Dans cette région, ce manteau repose sur des grès ferrugineux qui, ainsi qu'on l'a constaté dans le fonçage des puits, disparaissent en faisant place à des grès très tendres riches en kaolin blanc ou légèrement violacé.

L'épaisseur totale de la couverture en terre de barre et en grès n'est jamais supérieure à 50 mètres (Kové est à la cote 100 et Zagnanado à la cote 109) et la ligne de séparation des roches cristallines et des grès, d'où sortent la plupart des sources, se trouve environ à la cote 80.

Le thalweg du Zou, au pont de chemin de fer Bohicon-Zagnanado, se trouve à la cote 30.

Les sources

Le soubassement cristallin, formé de roches très souvent altérées (gneiss kaolinisé) est, de par la structure de ses roches, imperméable (Fig. G).

Par contre, la couverture de grès et de terre de barre laisse passer les eaux superficielles en les absorbant (roches perméables).

Les eaux s'enfoncent peu à peu jusqu'au niveau imperméable de la plateforme cristalline. Le plan d'eau supérieur a monté en saturant les roches perméables jusqu'à une certaine limite (niveau hydrostatique) variable suivant le régime des pluies.

La résistance due au frottement de l'eau dans les roches détermine des pertes de charge analogues à celles des conduites d'eau artificielles. Elle est compensée partiellement ou en totalité par la pression atmosphérique.

Les eaux suivent obligatoirement la couche imperméable et si un accident de terrain fait affleurer celle-ci, il se produira une ligne de suintements qui, par suite des irrégularités de la couche cristalline, se réuniront en sources bien définies.

Cet état de chose explique l'origine de nombreuses sources de Zagnanado, dues à la brusque dénivellation permettant l'affleurement de la face de contact des terrains gréseux perméables et des terrains cristallins imperméables.

Cette brusque dénivellation a pour origine les érosions du Zou et de l'Ouémé et de leurs affluents et par l'existence au Sud d'une falaise laissée par la mer éocène.

Les sources sont surtout des sources d'affleurements et plus rarement de thalweg ; ce sont les plus importantes de la région et de la colonie.

Il arrive, enfin, que le niveau de suintement se trouve un peu au-dessus de la limite des gneiss et des grès. Cette anomalie est due à l'existence de grès compacts très riches en kaolin reposant directement sur les roches cristallines et qui se comportent comme des roches imperméables.

Division des Sources

On peut diviser les sources en deux groupes principaux ne comprenant pas les quelques petites sources existant au Nord de Zagnanado et dont il sera question plus loin.

1er *groupe.* — Sources dont les eaux vont aboutir à l'Est dans l'Ouémé ; ce sont les plus importantes (Agony, la Mission, Dovi, etc...).

2e *groupe.* — Sources dont les eaux vont aboutir au Zou, à l'Est (Kové).

Sources de l'Est

Les plus importantes et les plus connues sont celles d'Agony Ouegbo et de la Mission qui se trouvent à 1 km 1/2 à l'Est de la résidence de Zagnanado.

Le plateau descend d'abord en pente douce pour se terminer brusquement par un à pic de 10 à 15 mètres. La différence de niveau entre la résidence d'Abomey et les sources est d'environ 30 mètres pour une distance de 1.500 mètres.

Les terrains rencontrés dans cette brusque dénivellation se classent dans l'ordre suivant :

1° Terre de barre ;

2° Grès ferrugineux et grès blancs plus ou moins riches en kaolin ;

3° Gneiss entièrement décomposés dont les feldspaths sont transformés en kaolin, mais dont la texture originelle et dont l'orientation N.-O. 40° est nettement visible.

Ci-dessous, deux coupes des terrains en question :

La première, dressée suivant les renseignements fournis par M. Hubert :

1. Gneiss.
2. Grès ferrugineux.
3. Grès rose.
4. Conglomérats ferrugineux.
5. Terre de barre.

La 2e, prise dans le sentier conduisant au village d'Agony aux sources du même nom :

1. Gneiss.
2. Grès très riche en kaolin.
3. Grès blanc.
4. Grès ferrugineux.
5. Grès blanc.
6. Grès grossier ferrugineux.
7. Terre de barre.

Les points d'émergence des sources sont connus :

Trois sources importantes à Agony dans les terrains de l'Administration ;

Sept sources importantes dans la concession de la Mission, en plus de petites sources ou suintements.

Les premières sont celles qui s'avancent le plus dans le plateau.

Elles sont numérotées 1, 2 et 3 dans le plan de la concession de la Mission.

Les Nos 1 et 2 sourdent au bas de la plaine, un peu au-dessus du contact des gneiss altérés et des grès à kaolin. Leur débit total est d'environ 40 litres à la minute.

Le N° 3 sort d'une petite grotte et va se jeter dans un bassin artificiel aménagé par les indigènes.

Cette petite grotte n'a pas la même origine que celles, si fréquentes dans les régions calcaires, dues à la dissolution du carbonate de chaux ; elle provient du délayage du kaolin cimentant le grès blanc, ce qui a permis au sable d'être entraîné.

La source N° 4 (source principale de la Mission) est celle dont le débit est le plus fort. Le gneiss décomposé est bien visible et les eaux sortent à la ligne de contact du gneiss et du grès en formant une petite excavation dans le grès.

Elles affleurent en deux points distants l'un de l'autre d'une dizaine de mètres. La plus importante, celle du grand bassin, a un débit de 220 litres à la minute, l'autre ne donnant que 100 litres.

La source N° 5 (terrains de l'Administration) se compose de trois suintements rapprochés. La formation géologique du terrain est la même que celle de la Mission.

Le premier suintement fournit 27 litres à la minute. Le second 9 litres et le troisième 6 litres.

La source N° 6 se trouve en aval des grandes sources de la Mission, sur le flanc gauche de la vallée, occupé par une plantation de cacaoyers et de caféiers. Le gneiss affleure nettement, le débit est sensiblement de 25 litres à la minute.

Il existe, dans la même vallée, d'autres sources et de nombreux suintements, mais leur importance est minime comparativement à celle des grandes sources ; celles de Ouée et Somélé n'ont qu'un débit de 5 litres à la minute environ.

Près de ces deux sources, on rencontre, dans les sables de surface, quelques nodules de calcaire qui ont englobé dans leur masse des grains de quartz.

Dans cette vallée, les gneiss affleurent souvent, surtout en amont ; en aval le fond est recouvert de sable blanc impropre à la culture du cacaoyer. La limite Sud de la Mission dépassée, le fond de cette vallée devient marécageux, surtout à l'époque du débordement de l'Ouémé.

Sources de Quingou et Togblo

Il existe deux sources près de ces deux villages. Elles ont été aménagées par les indigènes.

On peut affirmer avec quasi certitude que d'autres jaillissements existent dans la vallée, mais ils sont difficiles à reconnaître par suite de l'exubérance de la végétation dans ces deux thalwegs.

La source de Quingou se trouve au S.-S.-E. et à environ 2 kilomètres du village de Zagnanado. Elle a un débit important de 150 litres à la minute. On ne voit pas affleurer les gneiss et les eaux sortent d'un grès grossier à ciment de kaolin.

La source de Togblo est située à 300 mètres environ en aval de la précédente. Elle a un débit d'environ 50 à 60 litres à la minute. Enfin, à Doga, à 2 kilomètres au Sud de Zagnanado, existent deux sources rapprochées qui sont plutôt des sources de thalweg que d'affleurements. Il n'existe pas d'affleurements rocheux, les eaux sortant dans des sables blancs. Leur débit total est de l'ordre de 30 litres à la minute.

Sources de Dovi

A Dovi Koblo, il existe une source unique à débit insignifiant. Tout près de son lieu d'émergence, apparaît un affleurement de grès très décomposé.

A Dovi Dové sortent de terre deux sources très différentes.

La première, située au centre du village, a un débit très faible ; la seconde, à 400 mètres au sud du village, a un débit assez important.

La falaise est formée par un grès ferrugineux grossier, sans affleurement de gneiss. Le débit est d'environ 120 à 130 litres à la minute.

A Dovi Dizigo et Dovi Zangou, au sud de Dovi Dové, émergent de petites sources à débit insignifiant.

Sources a l'ouest de Zagnanado

Sur ce versant, les sources les plus importantes sont celles de Kové.

Les conditions géologiques sont à peu près pareilles à celles des sources d'Agony.

On trouve dans la région des terrasses de galets de quartz laissés anciennement par le Zou.

Les sources qui sont à environ 2 kilomètres de Kové sortent en bas d'un abrupt formé dans sa partie supérieure de terre de barre et, dans la partie inférieure, de couches alternées de grès blancs et de grès ferrugineux à grains grossiers. Il existe trois émergences bien visibles.

Les eaux ne sortent pas à la limite des gneiss et des grès mais d'un grès très grossier à ciment de kaolin.

La principale source a formé une petite grotte dans le grès, analogue à celle des sources d'Agony.

Pour apercevoir les affleurements des gneiss, il faut descendre un peu en aval. Les gneiss sont moins décomposés que sur le versant Est.

Le débit total des sources peut être évalué à 150-200 litres à la minute.

Il existe également des sources de moindre importance en amont de la vallée de la rivière Laha et au sud de Kové, à Dovi Cogbé.

Les eaux du plateau de Zagnanado sont claires, inodores, insipides. Elles laissent parfois déposer un peu de kaolin. Leur température est de 20° environ. Elles ne constituent pas des sources minérales, ainsi qu'il a été dit à tort, et leur origine est facile à expliquer.

OBSERVATIONS

Pour expliquer les débits importants des sources de Zagnanado et la pauvreté des points d'eau au nord de cette localité, on peut supposer que la plateforme cristalline s'incline légèrement vers le Sud.

Les cotes exactes de nivellement ayant fait défaut, on peut, malgré cette carence de renseignements, constater que l'ensemble de la région s'élève faiblement vers le Nord, et il a déjà été signalé que les grès diminuent d'épaisseur au nord de Banamé.

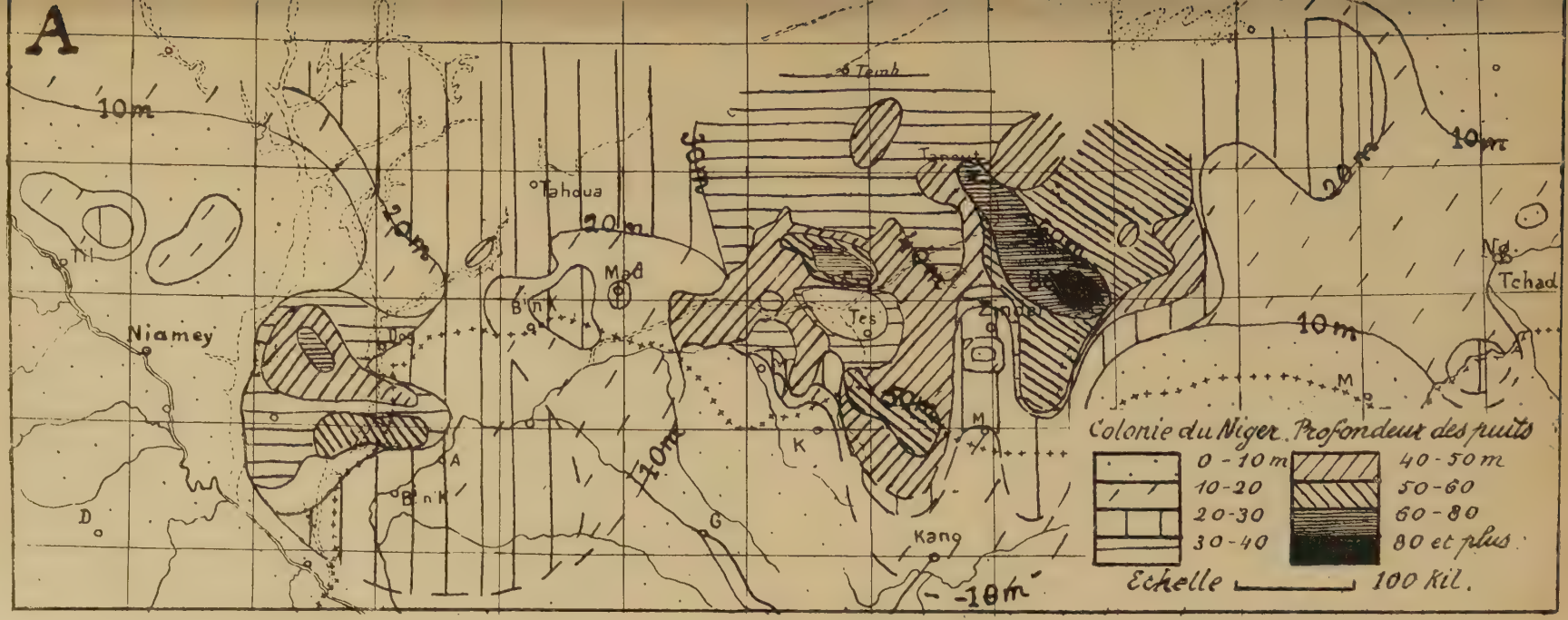
Cette inclination vers le Sud de la couche imperméable permet le draînage des eaux d'infiltration au Nord de Zagnanado. Elles vont, en conséquence, grossir le débit des sources Sud de ce village.

Le débit des sources n'a pu être mesuré par période de grande pluie, il paraît constant pour toute l'année. Le plan d'eau des puits de la région varie de deux à trois mètres, suivant les périodes de sécheresse ou de pluie.

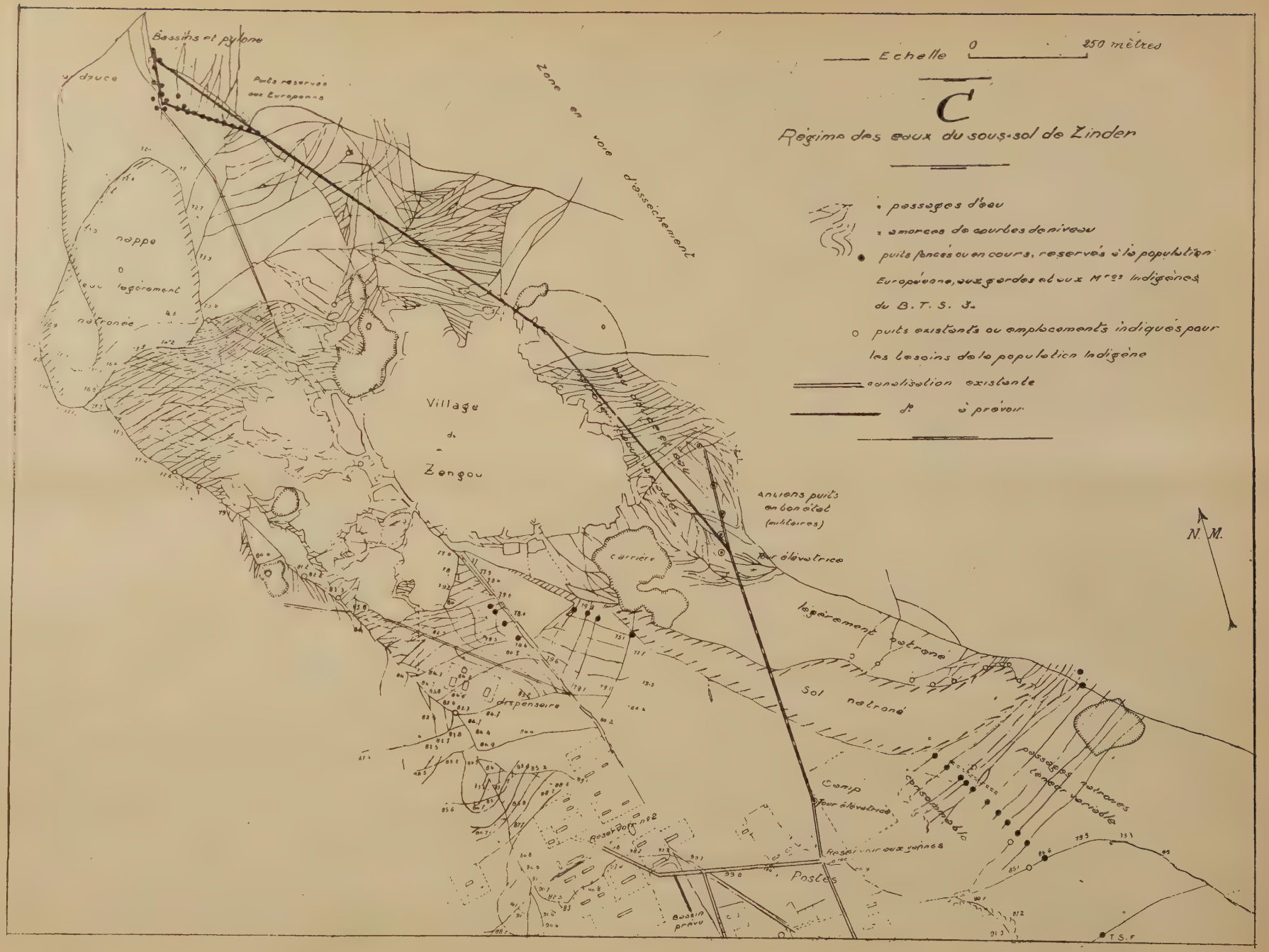
La lenteur d'écoulement des infiltrations des régions au nord de Zagnanado, fonction elle-même de la porosité des couches traversées, explique la régularité de débit des sources. La pression initiale se trouve contre-balancée par la perte en charge due aux frottements contre les pores de la couche.

Il se forme, en somme, une réserve d'eau dans les vides des éléments des grès et cette réserve alimente les sources pendant la saison sèche.

De Chételat,
Ingénieur-Géologue.



Légende
Chenaux reconnus & levés
Chenaux présumés
MEMA
BARA
FARIMAKE
MACINA
KARERI
Mopti
Bandiagara
Djenné
Sansanding
Ségou
KARADOUGOU
BELEDOUGOU
FOULADOUGOU
BENDOUGOU
MINIANKA
BAMAKO
Kita
Kayes
Bafoulabe
Satadougou
Koutiala
Dedougou
Ouessobougou
Nara
Nioro
Niafunke
Lac Nangaye
Orévano
Bore
Kouenza
Toure
Sangha
Sango
Ouol
Bankassi
Kirt
Louta
Ouonkoro
Tougan
Bao
Lanfiera
Sourou
Yakio
Koury
Douy
Banani
Kolonkan
Timparela
M Peresso
Kolonie
Kaka
Kandiourou
Soloio
Monampe
Diafarabe
Kokry
Say
Sarro
Fatere
Mouna
Sámou
Mansare
Sienso
Takara
San
Douna
Barouéli
Koulikoro
Nienebale
Kenenkou
Koundou
Guenikoro
Toulimandio
Montabougou
Kapadi
Sotiba
Kebe
Biron
Nafadie
Kaumberila
Baoule
Bafing
Konseguala
Duo
Tiendo
Seuba
Bla
Nyamina
Mignon
Banamba
Kolakani
Koumi
Kodala
Niger
Bani
Baoulé
Baoulé
Bakoy
Baoulé
Bamba
Mourgoula
Nagassola
Tibi Krou
Bemdougou
Moussa Bamba
Firla
Kaniaga
Medina
Koundian
Dibia
Tombe
Toukoto
Bagny
Diakadana
Dialafara
Bountou
Diafara
Guettala
Mercou
Soso
Guissene
Damfa
Segala
Mourdia
Ardani
Toumboula
Gueoumkour
Mourtoni
Diala
Foulanguedau
Diangounte
Ambidedi
Fatalegui
Konrakary
Lambatara
Etang de Magui
Kolimbine
Yelimane
Tando
Takhanguenou
Tourourou
Belle
Boulal
Faradila
Soumbou Toufi
Laimabeidir
I. Federe
Lambadda
Nampala
Bengelol
Ourondia
Kakagnan
Kouenza
Toure
Sansha
Sango
Bandiagara
Sofana
Ouol
Bankassi
Kirt
Djenné
Sourou
Louta
Ouonkoro
Tougan
Bao
Lanfiera
Sourou
Yakio
Koury
Douy
Dedougou
Sofane
Banani
Kolonkan
Timparela
M Peresso
Kolonie
Koutiala
Konseguala
Duo
Kaumberila
Baoule
Bafing
Biron
Nafadie
Kebe
Kapadi
Sotiba
Montabougou
Toulimandio


Echelle 0 250 mètres
C
Régime des eaux du sous-sol de Zinder
: passages d'eau
: amorces de courbes de niveau
puits fonçés ou en cours, réservés à la population Européenne, aux gardes et aux Mres indigènes du B.T.S.S.
puits existants ou emplacements indiqués pour les besoins de la population indigène
canalisation existante
à prévoir
Bassins et pylone
Puits réservés aux Européens
Zone en voie d'assèchement
nappe
eau légèrement natronée
Village de Zengou
Anciens puits en bon état (inutilisés)
Carrière
Tour élévatrice
légèrement natroné
Sol natroné
dispensaire
Camp
Tour élévatrice
Poste
Bassin prévu
N. M.
T.S.F

D) PROSPECTION GÉOPHYSIQUE EN ALGÉRIE

fig. 1

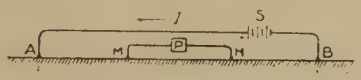


Fig. 2

Sondage électrique à TILREMPT.

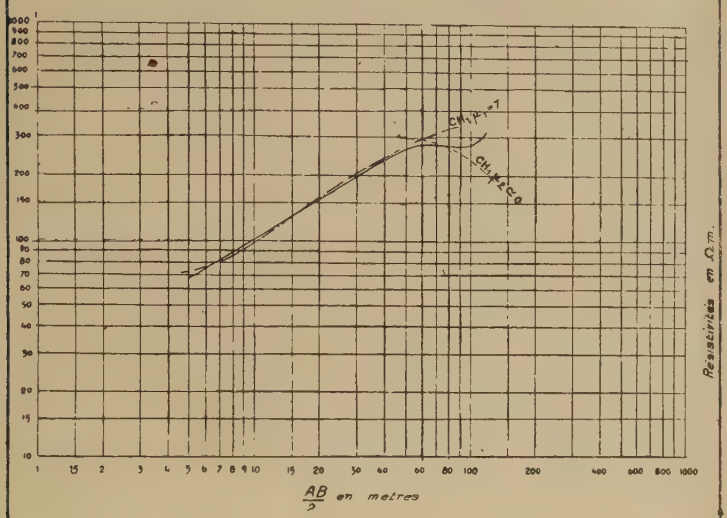


Fig. 3

Sondage électrique sur la dayet NEKHA.

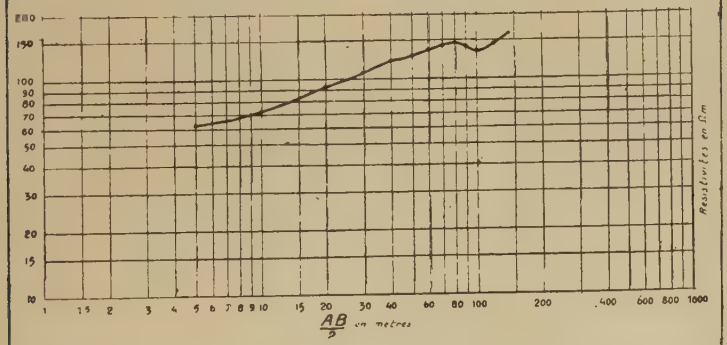
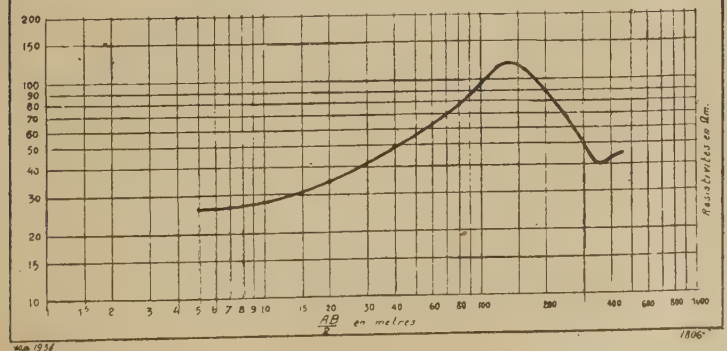


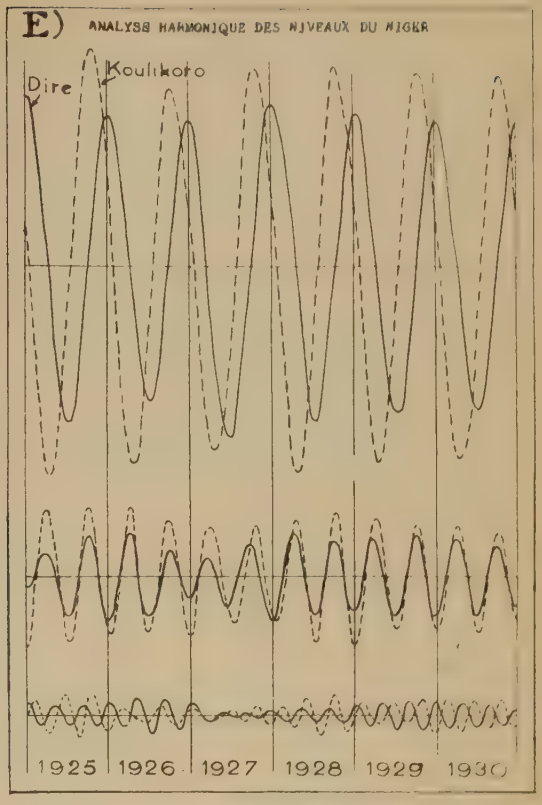
Fig. 4

Sondage électrique à GUERRARA.

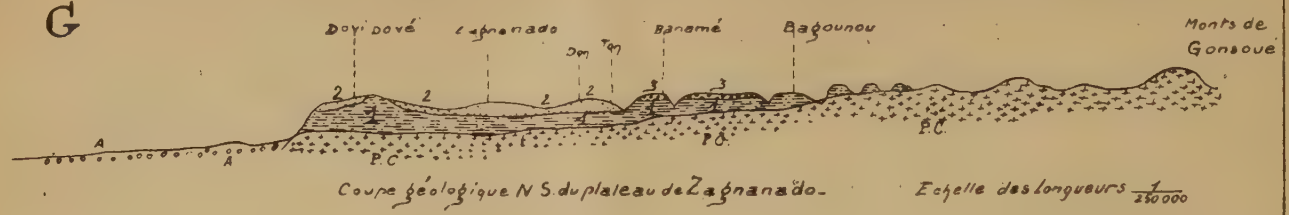


1806

E) ANALYSE HARMONIQUE DES NIVEAUX DU NIGER



G



Coupe géologique N S. du plateau de Zagnanado. Echelle des longueurs $\frac{1}{250000}$

A : Alluvions du Zou et de l'Ouémé
1 : Grès ferrugineux ou blanc
2. Terre de barre
3 : Conglomérat latéritique
P.C Terrains cristallins (gneiss granit)

H-Répartition des jours de pluie par mois entre le Sahara Soudanais et l'île de la Réunion. –

Colonies	Localités	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
A. O. F.	Tessalit	0	0	0	0	1-5	1-5	5-10	5-10	1-5	0	0	0
d°	Gao	0	0	0	1-5	1-5	1-5	5-10	5-10	5-10	1-5	0	0
d°	Niamey	0	0	0	1-5	5-10	5-10	10-15	10-15	5-10	1-5	0	0
d°	Zinder	0	0	0	1-5	5-10	5-10	10-15	10-15	5-10	1-5	0	0
A. E. F.	Fort-Lamy	0	0	0	0	1-5	5-10	10-15	10-15	5-10	1-5	0	0
d°	Fort-Archambault	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	5-10	10-15	10-15	10-15	5-10	0	0
d°	Bangui	1-5	1-5	5-10	5-10	5-10	5-10	10-15	10-15	10-15	10-15	5-10	1-5
Congo Belge	Eala	5-10	5-10	10-15	10-15	15-20	5-10	5-10	5-10	10-15	15-20	15-20	10-15
d°	Nioki	5-10	5-10	5-10	10-15	1-5	0	1-5	1-5	5-10	10-15	10-15	5-10
d°	Sangai	10-15	10-15	10-15	15-20	5-10	1-5	1-5	5-10	10-15	10-15	15-20	15-20
d°	Lovoi	15-20	15-20	10-15	10-15	1-5	0	0	1-5	5-10	10-15	10-15	15-20
d°	Elisabethville	20-25	20-25	20-25	5-10	1-5	0	0	0	1-5	5-10	15-20	20-25
Rhodésia	Broken Hill	15-20	10-15	10-15	10-15	0	0	0	0	1-5	1-5	10-15	15-20
Mozambique	Tête	15-20	5-10	5-10	1-5	0	0	0	0	0	1-5	1-5	10-15
d°	Quélimane	10-15	10-15	10-15	5-10	5-10	5-10	5-10	1-5	1-5	1-5	1-5	10-15
d°	Mozambique	5-10	5-10	5-10	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	5-10
Madagascar	Majunga	15-20	15-20	10-15	5-10	1-5	0	0	0	0	1-5	5-10	10-15
d°	Tananarive	15-20	15-20	10-15	5-10	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	5-10	10-15	15-20
d°	Tamatave	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20	15-20	20-25	15-20	10-15	5-10	5-10	15-20
Réunion	St-Denis	5-10	5-10	5-10	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	5-10	5-10	5-10
Nombre de jours de pluie par mois, en moyenne, sur la totalité du parcours (chiffres arrondis)		8-12	7-10	7-10	6-10	4-8	3-6	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	8-11

Passé du Niger sahélien

Depuis sa source et jusqu'à Niamina, village situé à 150 kilomètres en aval de Bamako, le Niger coule dans une vallée limitée par des chaînes gréseuses ininterrompues. Cette partie de son cours est donc stable, si l'on ne tient pas compte des faibles déplacements de son chenal.

Au delà de Niamina, la vallée s'élargit et les arêtes gréseuses perdent leur caractère de continuité, pour ne former bientôt que des massifs isolés surplombant des pénéplaines.

A l'aval de Sansanding commence le delta central nigérien avec tout son réseau de défluents répartissant dans le Macina ses eaux de crue.

La zone d'épandage, étroite au début, s'élargit progressivement pour atteindre, à hauteur de Diafarabé, plus de 100 kilomètres de largeur. Conduite par des chenaux assez encaissés, l'inondation pénètre à l'intérieur des terres, recouvrant les plaines, alimentant des mares et lacs permanents, souvent très importants. Situés en contre-bas du fleuve, les terrains inondés ne restituent qu'une faible partie de l'eau qu'ils reçoivent, et dont le gros se perd par évaporation et infiltration.

Le delta et la zone lacustre qui lui fait suite prennent fin vers Tombouctou.

Dans cette partie de son cours, le Niger est loin d'être fixé. Se déplaçant lentement vers le Sud, il dépose sur la rive gauche de son delta central les matières de destruction de sa rive droite et comble à la longue, sur sa rive gauche, les prises d'eau de ses défluents. Le phénomène, très visible à l'entrée du Diaka et du Murrari, se produit aussi sur les autres bras et défluents moins importants.

De par ce colmatage progressif, les inondations pénètrent de moins en moins loin dans l'intérieur du pays ; les terres s'assèchent, les nappes souterraines s'abaissent et le désert conquiert ainsi des régions d'où, faute d'eau, la vie disparaît.

Quand on recoupe le Macina transversalement, on rencontre d'abord des plaines inondées chaque année ; ces plaines sont couvertes de grandes herbes et leur boisement se cantonne sur les points élevés. Ensuite, on entre dans la zone d'inondation par crues exceptionnelles, boisée ou demi-boisée. Puis viennent des plaines qui ne sont plus inondées, lesquelles changent d'aspect à mesure qu'on s'éloigne du Niger, en passant de la végétation verdoyante aux immenses surfaces dénudées par le soleil, couvertes de bois mort, arides et sans population.

Toutes ces plaines sont sillonnées de bras du Niger, qui les ont formées en déposant leurs alluvions pendant des siècles. Avec leur relief très atténué, leurs alluvions fertiles de forte épaisseur et leur réseau naturel d'irrigation, elles constituent pour la culture irriguée un pays d'élection ; aussi, dès le début des études d'aménagement de la vallée nigérienne, a-t-on cherché à connaître en détail leur hydrographie moderne et ancienne.

L'assèchement du Nord-Ouest du Macina est un fait récent, ses habitants parlent par oui-dire d'inondations bien plus puissantes que de nos jours. Plongeant dans un passé déjà lointain, les traditions orales dont ils font état sont, en maintes localités, demeurées très vivaces.

Une légende recueillie à Sansanding et à Sokolo décrit un ancien bras du Niger qui traversait les provinces du Kala, du Kouroumari et du Méma pour rejoindre la région du lac Débo. Jalonné de villages dont certains sont encore habités, tandis que la plupart ont disparu, mais conservent toujours leur nom, ce défluent a pu être relevé sur tout son parcours. Tant que le Tiénaba (tel est son nom dans sa partie d'aval) fonctionnait à la manière des défluents actifs actuels : Diaka, Murrari, les provinces du Kouroumari et du Méma demeurèrent très peuplées. Mais son activité diminuant d'année en année, la population chassée par la sécheresse superficielle et souterraine a dû descendre vers le Sud. Le Méma et le Kouroumari Est sont déserts actuellement ; le Kouroumari Ouest est en voie de dépeuplement rapide.

La même légende indique qu'avant de couler vers l'Est, au delà du Kouroumari, l'eau nigérienne se dirigeait à l'Ouest et tombait ainsi dans le bassin du Sénégal. C'est, du reste, ce qu'affirment plusieurs voyageurs et géographes arabes du Moyen-Age. D'après Edresi notamment (XIII^{e} siècle), le Nil de Ghana, jonction entre le Sénégal et le Niger, coulait de l'Est à l'Ouest.

Lors des études du Baoulé (affluent du haut Sénégal), les levées recoupèrent des plaines alluvionnaires situées à des cotes trop élevées pour être atteintes par les crues les plus violentes de cette rivière ; ces plaines contiennent, par endroit, de petites buttes au sommet calcaire, vestiges d'anciens bancs d'huîtres d'eau douce, tels que ceux qui encombrent en certains points le lit du fleuve actuel et que l'on retrouve, à des degrés divers de dégradation, dans le Karéri, le Kouroumari et la Kala (Niébébougou, Kandiourou). Pour que ces bancs aient pu se former et se maintenir, il a fallu que ces provinces fussent, au moins en partie, inondées en permanence et, d'autre part, que le Baoulé servit d'exutoire aux débits nigériens détournés par le Nord de leur trajet oriental.

Si la similitude des formations calcaires du Baoulé et du Kouroumari permet d'envisager leur origine commune, rien cependant n'autorise à découvrir dans ce fait la preuve des anciennes communications des bassins du Niger et du Sénégal que, seules, des opérations topographiques et nivométriques de précision seraient capables de fournir.

La tâche la plus compliquée ou, plutôt, la plus ingrate qui puisse échoir à un topographe, est indiscutablement la recherche et la reconstitution d'un ancien système hydrographique de delta, Se modifiant et se déplaçant continuellement, les chenaux deltaïques forment, en effet, un inextricable lacis de thalwegs, tantôt comblés, tantôt débouchés à différentes époques et dont il est très difficile de retrouver le canevas essentiel.

Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur le delta actuel nigérien, dont bien des détails sont encore des plus obscurs.

Les reconnaissances à effectuer dans le delta mort portaient sur une zone de 300 kilomètres de longueur et d'une centaine de kilomètres de largeur, dans un pays presque désert et privé d'eau. Aussi, avant de les entreprendre, paraît-il nécessaire de recueillir tous les renseignements locaux. Les légendes qui ont guidé avec succès les reconnaissances antérieures du Kouroumari et du Méma ne pouvaient évidemment pas donner les mêmes résultats à l'Ouest. D'un côté, avec l'assèchement du Méma et du Kouroumari, on avait affaire à des faits récents. Le Niger, il y a quatre ou cinq siècles, envahissait encore ces régions ; tandis que l'activité des défluents occidentaux remonte peut être à plus d'un millénaire. Les villages cités dans les récits indigènes ont disparu ; sous l'action des pluies et des vents, leurs bossellements se sont écrétés ; la végétation et les sables en ont recouvert les vestiges, que rien ne distingue plus des petites dunes voisines. Leurs noms même se sont effacés de la mémoire des hommes. Ne subsistent guère de l'ancien delta que les vallées bien marquées où, accumulée pendant la mousson, l'eau subsiste dans les premiers mois secs, jalonnant les pistes de transhumance bien connues des chasseurs et des bergers.

Deux de ces vallées ont été signalées par les nomades : l'une partant de la région de Nianima et se dirigeant vers le Nord en contournant le Bélédougou ; l'autre, partant du Kouroumari Ouest et traversant le Ouagadou, où elle se partage en deux branches, la première allant vers le Baoulé et la deuxième dans la direction des hauts affluents du Kolombiné. Le chenal de Niamina n'a pas encore été reconnu. La légende de Tiénaba en fait état comme d'un système antérieur au Niger sahélien oriental.

L'autre vallée, également citée dans la tradition, est actuellement connue sur 150 kilomètres, mais non pas encore reliée en amont aux défluents du Kouroumari, ni au Baoulé à l'aval.

La pente longitudinale très régulière du parcours levé (8 à 10 cm. par kilomètre), la régularité de son tracé et de son profil en travers large de 2 kilomètres, plaident en faveur de l'hypothèse de départ. Par ailleurs, l'ancien bras nigérien, à la hauteur de Sokolo, est à 292 mètres d'altitude, et la vallée reconnue dont la cote, en tête des reconnaissances, est 270 mètres, descend progressivement jusqu'à 250 mètres aux approches des alluvions de la boucle du Baoulé, situées à 190 mètres au-dessus de la mer. Il est donc assez plausible que le Niger et le Sénégal aient pu, jadis, se joindre par cette voie (Fig. B).

Actuellement, 30 kilomètres à l'aval, 20 kilomètres à l'amont, forment les chaînons qui manquent pour achever la démonstration d'une jonction ancienne des deux fleuves par le Sahel. On mettra certainement du temps pour parfaire ce travail. Avant de se frayer vers l'Ouest un passage dans les alluvions et les dunes qui gênaient son écoulement, le Niger noyait le Kouroumani, de telle sorte que l'écoulement des eaux de crue devait se faire, tant en direction du lac Débo que du Sénégal, par un réseau de chenaux au moins aussi complexe que celui du Niger lacustre. Quels furent ceux qui se fixèrent et se tinrent en eau les derniers ? Il ne sera pas commode de le savoir.

S. CHRISTOFOROFF.

Les problèmes du débit du Niger

Le sens de variation du volume annuel des eaux du Niger est variable le long du cours du fleuve. La masse des eaux grossit entre la source et la région de Koulikoro, tant par l'apport du ruissellement que par celui des eaux souterraines. Ensuite, jusqu'à Mopti, il y a déperdition. Les eaux ne reçoivent plus d'apports nouveaux, mais quittent le fleuve soit par évaporation, soit en s'infiltrant dans les terres. A Mopti, le cours principal du Niger reçoit le Bani, le plus grand de ses affluents. La masse des eaux s'en trouve notablement accrue, mais aussitôt la déperdition continue. Le lac Débo en toute saison, les régions inondées, autour de lui et en aval, pendant la crue, constituent un lieu où l'évaporation et l'infiltration s'exercent sur des surfaces très considérables. Les eaux apportées par le Niger sont, de plus, absorbées par les lacs périphériques, situés en contrebas du fleuve et alimentés par un déversement partiel de sa crue.

En aval des régions inondées, le Niger est remis dans les conditions qui règnent entre Koulikoro et le début des inondations. C'est-à-dire que le volume de ses eaux va en diminuant par suite de l'évaporation et de l'infiltration, s'exerçant sur l'ensemble des lits du fleuve. Après ce parcours, le Niger pénètre, entre Gao et Niamey, dans une nouvelle zone d'alimentation et le volume de ses eaux grossit jusqu'à son embouchure.

Le bassin versant du Niger comprend donc, d'une part, des zones contribuant à la masse des eaux évacuées par le fleuve et qui forment ses bassins d'alimentation et, d'autre part, des zones de déperdition des eaux. Il semble que l'isohyète de 400 mm. constitue la limite de ces différentes parties du bassin versant du fleuve et, comme la position de cette courbe est variable, on doit supposer que les bassins d'alimentation du Niger ont une superficie variable elle aussi.

Voici exposées les grandes lignes du régime des eaux du Niger. Elles sont établies par déduction, en partant des caractéristiques du climat et du tracé du réseau hydrographique. Ce n'est donc qu'une vue qualitative, dont l'exactitude est probable.

Voyons maintenant ce qui est acquis par observation. On doit se rappeler que le jaugeage du volume des eaux, coulant dans un lit considérable, est une opération assez compliquée pour nécessiter l'emploi d'un matériel spécial et pour ne pouvoir être faite avec continuité. On effectue les mesures pour des niveaux différents du plan d'eau et on reporte les résultats sur un graphique, en fonction de la cote du fleuve. Une « courbe des débits » est ainsi obtenue. Elle est un premier élément essentiel pour la détermination des volumes écoulés. Mais dans un cours d'eau à fond mobile elle ne peut être établie une fois pour toutes. Le modelé du lit évolue dans ce cas et ceci oblige à répéter les mesures, afin de tenir la courbe des débits à jour.

Celle-ci sert à la conversion en volumes d'eau des cotes lues sur une échelle fixe. C'est donc ces dernières lectures qui constituent un deuxième élément essentiel d'évaluation des volumes d'eau.

Les déterminations publiées (1) du débit du Niger ont été faites à Koulikoro. Elles sont très peu nombreuses. La courbe des débits, construite d'après elles, est, par conséquent, une toute première approximation. En l'employant pour l'ensemble des observations du niveau du Niger à Koulikoro, on laisse subsister une incertitude qui tient tant à l'insuffisance des données qu'à l'ignorance des modifications qu'elle a pu subir avec le temps, par suite de l'évolution du modelé du lit du fleuve.

C'est sous ces réserves seulement que peut être donnée l'équation suivante de la courbe des débits du Niger à Koulikoro :

$$Q = 107{,}54\ (H + 0{,}61)^{2{,}15}$$

où Q est le débit en mètre cubes par secondes et H la cote lue à l'échelle du Service de Navigation. L'équation étant unique pour toute l'étendue du mouvement des niveaux, on voit qu'il n'a pas été possible de distinguer l'influence de la phase de la crue.

Voici les déductions résultant de l'application de l'équation précédente.

---

(1) E. Bélime. — La production du coton en A. O. F. Publications du Comité du Niger. Paris, 1925.

La plus haute cote observée du fleuve a été égale à 8 m. 25. Pour cette hauteur du niveau on trouve la valeur de 11,700 m³/s. du débit maximum. Le plus bas étiage observé (zéro de l'échelle) donne, d'autre part, un débit minimum de 37 m³/s. Ainsi se déterminent les limites approximatives des variations du débit du Niger à Koulikoro. Il est cependant très probable que les limites absolues n'ont pas été atteintes pendant la période des observations, qui datent du mois de juin 1907 seulement. On peut s'attendre à la production des crues plus fortes et des étiages encore moins abondants qu'on ne les a observé.

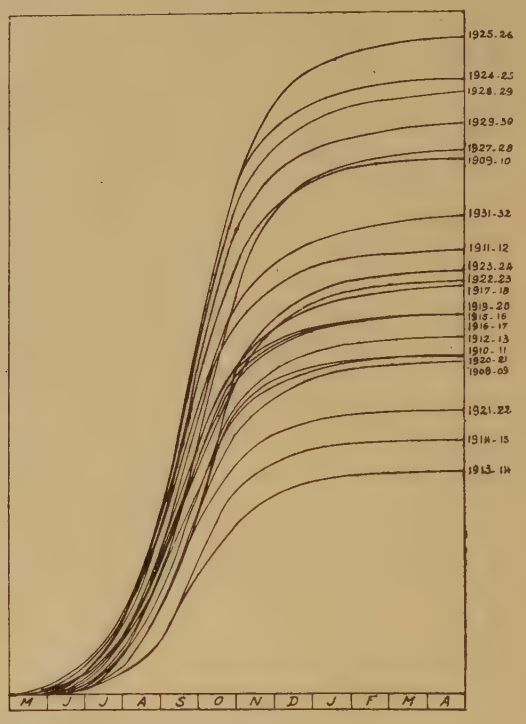
Si, maintenant, on évalue les volumes journaliers des eaux, on obtient, pour les crues observées, les valeurs des volumes totaux écoulés, qui varient du simple au triple environ. La variation des volumes pour la période 1907-1932 est résumée dans le tableau :

Nature de la crue	Année	Indice d'écoulement (mm)	Volume total en milliards de mètres cubes
Crue maximum ..	1925-1926	714	86,6
Quartil supérieur.	1927-1928	591	71,7
Moyenne	»	465	65,4
Médiane	1917-1918	402	54,0
Quartil inférieur .	1920-1921	368	44,7
Crue miuimum...	1913-1913	245	26,6

Les nombres de la dernière colonne sont obtenus en rapportant les volumes totaux écoulés à la surface du bassin versant. Il faut rapprocher la valeur moyenne de l'indice d'écoulement, ainsi obtenu, de la conclusion rappelée, que seules les terres recevant plus de 400 mm. de pluie contribuent à la crue. Dans ces conditions on doit tenir l'indice d'écoulement, calculé pour les crues basses, pour trop faible, car en année sèche la surface d'alimentation est plus petite que celle du bassin versant, auquel sont rapportés les volumes écoulés.

Le graphique suivant représente les volumes cumulés de chaque crue et on peut y voir qu'il y a deux catégories de crues, se distinguant par la rapidité, grande ou faible, de la montée du graphique. Cependant, il faut noter que le volume total n'est pas déterminé, en général, par la rapidité de l'arrivée des eaux. Il y a des crues faibles qui ont monté rapidement (1914-1915) et il y en a eu de fortes, dont la montée était lente (1909-1910).

Ce qui est important, c'est la régularité très grande de toutes ces courbes. Elle ressort encore mieux et devient particulièrement significative lorsque l'on considère les valeurs relatives des ordonnées, obtenues en les exprimant, pour chacune des courbes, en fractions (ρ) de l'ordonnée finale. On constate, alors, que toutes ces valeurs relatives se rangent entre les limites, assez étroites, représentées sur le deuxième graphique. On peut donc dire que la constitution de la crue du Niger est quasi constante.



Cette propriété est, évidemment, une conséquence de la quasi constance du dessin des courbes pluviométriques en A.O.F. découverte par M. H. Hubert (1). Elle caractérise, d'autre part, le régime des cours d'eau des pays chauds, car on la constate pour les fleuves aussi différentes que le Niger, le Nil, l'Amazone, et le Syr Daria.

La petitesse de l'écart des extrêmes de la fraction ρ permet une prévision du volume total des eaux d'une année. Les quatre courbes descendantes du graphique donnent la précision de l'annonce, qui diffère suivant que l'année évolue dans le sens de l'humidité ou de la sécheresse, mais qui descend à 10 p. 100 à la fin du sixième mois au plus tard.

Le sens de l'évolution de l'année, dont il vient d'être

(1) H. Hubert, *Nouvelles Etudes sur la Météorologie de l'A. O. F.* Paris, Larose, 1926.

question, peut être estimé par l'examen de l'allure des courbes d'exploration, construites d'après la méthode de M. H. Labrouste. Cette méthode a, de plus, permis d'analyser le mouvement des niveaux à Koulikoro et de trouver que le régime des eaux est une résultante de plusieurs composantes périodiques, dont 7 ont pu être dégagées. Parmi ces dernières, la composante annuelle est la principale, les autres ont la longueur de période de 3, 4, 6, 20, 30 et 60 mois. La série de Koulikoro n'est pas assez longue pour permettre la recherche de composantes plus longues, cependant on y distingue facilement la composante undécennale et on peut en supposer d'autres par analogie avec le Nil (voir fig. E).

Par l'application de la méthode de M. Ed. Maillet, il a été possible de se former une idée, toute préliminaire encore, de l'apport des eaux souterraines du bassin d'alimentation. Le Niger, a la fin de la baisse de la crue et pendant l'étiage, réalise une « courbe de décrue » qui s'exprime par une exponentielle à paramètres variables. Ceci veut dire que le débit du Niger, lorsque les pluies ne se font pas sentir, est proportionnel au volume des eaux emmagasinées dans le sous-sol et dans les marais. On peut dès lors calculer ces volumes en partant des débits constatés et on aboutit à cette appréciation que l'apport annuel des eaux, emmagasinées en amont de Koulikoro, est de l'ordre de 12 à 15 milliards de mètres cubes.

L'utilisation de ces eaux par le fleuve n'est pas identique d'année en année. Ceci tient à ce que l'arrivée des pluies se fait plus ou moins tard et que les étiages sont, par conséquent, plus ou moins longs, ce qui conduit à une vidange plus ou moins complète des capacités d'emmagasinement. En étudiant la marche des plus basses cotes annuelles, on arrive à conclure qu'entre 1907 et 1932 le haut bassin du Niger a augmenté la quantité des eaux emmagasinées, mais de 45 millions de mètres cubes seulement, ce qui est peu par rapport aux volumes donnés plus haut.

En résumant ce qui précède on peut dire qu'en général le régime annuel des eaux du Niger est caractérisé : 1° par une part prépondérante due au ruissellement et sensiblement variable d'année en année ; 2° par un apport des eaux à écoulement retardé (sous-sol, marais) peu modifié, celui-ci, par les conditions de l'année.

Les volumes donnés plus haut indiquent aussi que c'est surtout l'apport du ruissellement qui peut être utilisé par les irrigations, tandis que la continuité de la navigation dépend surtout des eaux emmagasinées. La discrimination de la provenance différente des eaux servant aux deux buts essentiels d'exploitation du Niger peut être utile aux techniciens qui en ont la charge.

Ainsi se trouve brièvement récapitulé l'ensemble des renseignements acquis pour Koulikoro. Leur insuffisance, leur schématisme posent deux problèmes.

C'est premièrement celui d'avoir des jaugeages assez nombreux et poursuivis avec assez de continuité pour qu'une courbe de débits soit bien définie, pour toutes les hauteurs du plan d'eau, et pour que la durée d'application de chacun des états successifs de cette courbe soit bien précisée.

C'est, ensuite, celui de la détermination pour chaque période pluvieuse de la surface dont les pluies contribuent à l'écoulement du fleuve, tant par ruissellement que par infiltration.

La première étude demande la création d'une station de jaugeages de premier ordre à Koulikoro. C'est là une œuvre d'autant plus utile que Koulikoro se trouve à l'entrée d'un bief sans affluents et où d'importants travaux d'utilisation sont entrepris.

La deuxième étude, pour laquelle on dispose déjà des relevés du service météorologique, demande l'installation d'un réseau de pluviomètres souterrains de M. Diénert, ainsi qu'un relevé régulier de la résistivité des eaux des puits et des sources, à leur sortie. Il est de plus haut intérêt que chaque puits, ou chaque groupe de puits, soit muni d'un repère de nivellement, inclus dans le réseau du Service Géographique de l'A. O. F. et que les déterminations de la résistivité soient accompagnées d'une mesure de la hauteur de l'eau à partir de ce repère.

***

En amont de Koulikoro tout reste à faire. L'hydrométrie du haut Niger et de ses affluents n'est même pas entamée. Pourtant c'est à elle qu'il incombe de mettre en évidence le processus de la formation de la crue du Niger moyen, de discriminer la part revenant aux différentes vallées et de fournir une base pour l'étude de la régularisation du débit, qui deviendra nécessaire dans l'avenir. Il faut donc souhaiter que des postes hydrométriques soient créés au moins à l'embouchure du Niandan, du Milo, du Tinkisso et du Sankarani.

***

En aval de Koulikoro, le problème est inverse. La déperdition de l'eau s'y effectue tant par suite

de ce que le Niger alimente le sous-sol que par l'évaporation. Les jaugeages du fleuve ont été faits par l'Office du Niger dans la région de Sansanding, mais leurs résultats n'ont pas encore été publiés. A défaut de ces sources précises, on doit avoir recours au raisonnement, si l'on veut estimer les différentes pertes. On trouve, par application des coefficients de Shlichter, que les pertes par infiltration dans le lit du fleuve sont peu sensibles. Elles seraient de l'ordre de 80 litres par seconde et par kilomètre du cours. Les terres inondées sont, d'autre part, lourdes et peu perméables, de sorte que, en amont du lac Débo, le volume d'eau introduit annuellement dans le sous-sol serait assez faible. Il est d'ailleurs probable, qu'en partie du moins, ces eaux reviennent au Niger après la baisse de sa crue. Une étude de la perméabilité des terres, une observation de la direction d'écoulement des eaux souterraines et des jaugeages des différents bras seraient nécessaires pour préciser cette partie du régime du fleuve. Il faut noter qu'en plus de l'intérêt scientifique les résultats de ces études vont avoir une valeur d'application, car ils fourniront une base rationnelle aux projets de drainage, qui est indispensable à la réussite des cultures dans les terres soustraites à l'inondation. Ainsi l'étude attentive d'une faible partie des pertes peut avoir une importance très grande pour le développement économique du pays.

La cause principale de la déperdition des eaux réside certainement dans l'évaporation. On peut estimer que celle-ci, s'exerçant sur le lac Débo et sur la zone d'inondation, enlève un débit dépassant aux hautes eaux 1.700 m^3/s. Ce n'est là qu'une indication de l'ordre de grandeur. A vrai dire, à part une observation de J. Millot, on ne possède aucun élément pour pouvoir préciser l'ampleur de ce phénomène. Il faut souhaiter que le niveau du lac soit observé avec continuité soit à Gourao, soit à Akka ; qu'une carte hypsométrique des régions inondées soit établie ; enfin, que les stations météorologiques, situées sur les rives du Niger, entreprennent l'observation de l'évaporation de la surface libre du fleuve. Ces études sont d'ailleurs fort importantes pour la conception rationnelle des travaux d'irrigation.

Pour le moment, il faut se borner à constater qu'en fin novembre et en décembre les eaux commencent à être basses à Koulikoro, cependant que les inondations augmentent encore et arrivent à leur maximum. L'évaporation, à cette époque, doit pourtant au moins égaler l'apport du Niger. L'écoulement en aval du lac Débo se fait alors, grâce à l'apport du Bani. La baisse du lac Débo est retardée du fait de l'existence de ce dernier affluent, mais il est encore impossible de se rendre compte de son influence exacte, ni de la séparer de l'effet de l'emmagasinement dans les régions inondées. La remarque précédente permet seulement de pressentir que les volumes des eaux apportés par le Bani doivent être importants. D'autre part, la marche du niveau maximum annuel du lac Débo semble indiquer que le régime du Bani est semblable à celui du haut Niger. Ce n'est là qu'une indication, conforme à la pluviométrie, cependant, mais insuffisante. Il faudra apporter des précisions sur cette question, d'autant plus que l'étude complète du régime du Bani va certainement s'imposer. Il serait, en effet, difficile de concevoir un plan d'ensemble de la mise en valeur des terres pouvant être irriguées par les eaux du Niger, sans tenir compte de l'apport du Bani, car on peut avoir le sentiment que le débit du Niger, en années sèches, pourrait être absorbé par l'irrigation des terres en amont du lac Débo. Dans ce cas la région des grands lacs sera mise en valeur surtout par les eaux du Bani.

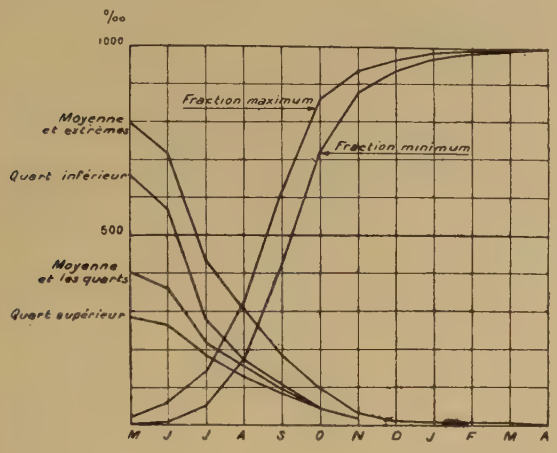
Les travaux d'utilisation vont influencer le régime du fleuve, mais leur succès reste évidemment conditionné par la connaissance complète du régime antérieur. Or, l'apport du Bani, l'emmagasinement de la région lacustre et l'absorption par les lacs périphériques transforment profondément la crue du Niger. Les oscillations secondaires s'affaiblissent, en aval du Débo, au profit de l'onde annuelle. Les valeurs relatives des composantes sont les suivantes :

Station	Période (mois)		
	4	6	12
Koulikoro	11,6 %	29,6 %	81,4 %
Diré	9,7 %	23,3 %	90,0 %

De plus, comme il apparaît du graphique suivant, la composante annuelle et celle de 4 mois à Diré ont une différence de phase de deux mois avec Koulikoro, tandis que les composantes semi-annuelles semblent être en phase. D'ailleurs la marche de l'amplitude de ces diverses ondes est très différente en ces deux endroits.

Quelle est la cause physique des faits relevés ? C'est là encore un problème insoluble tant qu'on n'a pas une idée nette sur la progression de la masse

des eaux et sur sa transformation. Il est à souhaiter que les études appropriées soient entreprises et



poursuivies, d'autant plus que leurs résultats permettront la prévision des volumes d'eau disponibles pour l'irrigation et de l'époque de leur arrivée.

***

Dans l'exposé précédent on a cherché à résumer l'ensemble de renseignements disponibles et les déductions qui ont pu être faites, on a signalé aussi les insuffisances des données et l'utilité pratique de chacun des problèmes posés.

L'hydrologie est une science qui est trop près de l'aspect pratique des choses pour en être séparée. Les études hydrologiques font constamment saisir que la génération actuelle est comptable de l'avenir. L'outillage hydraulique d'un pays n'est possible que si l'on possède une longue série d'observations éclairant, dans les détails, les phénomènes d'écoulement. Il faut léguer à nos successeurs le matériel indispensable au progrès.

V. Frolow.

Rapport de la Commission du Bureau des Longitudes sur la capture du Logone par la Bénoué (1)

Le lac Tchad occupe au centre de l'Afrique, et à l'altitude de 240 mètres, une étendue submergée variable, que l'on peut considérer à titre d'indication comme oscillant entre 10.000 et 20.000 kilomètres carrés (2). Si l'on y comprend les archipels, à l'exclusion des marécages riverains, la superficie de l'ensemble varie entre 15.000 et 25.000 kilomètres carrés (3).

La profondeur moyenne dans la région submergée est de 1 m. 60 environ. Le volume des eaux peut varier de 10 milliards à 50 milliards de mètres cubes.

La crue annuelle atteint son maximum vers le début de décembre ; le minimum a lieu vers la mi-juillet. La dénivellation est d'un mètre environ dans les années ordinaires.

Au point de vue politique, rappelons que le lac est bordé, sur les trois-quarts de son pourtour, par des territoires appartenant à la France, ou soumis à son influence (Afrique Occidentale Française, Afrique Equatoriale Française, Cameroun sous mandat français). Au Sud-Ouest, vers le Bornou, il est limité sur 160 kilomètres environ par la Nigeria anglaise et par la pointe Nord de la partie du Cameroun placée sous mandat britannique.

Le Tchad est situé dans la zone de transition intermédiaire entre les terres relativement favorisées du Soudan et les régions désertiques du Sahara. Dans le Sud, sauf au débouché du Chari, où les eaux sont libres, les rives sont formées d'une terre argileuse et noire où poussent des grands roseaux. Dans le Nord-Ouest et le Nord, elles sont constituées par des dunes de sable fixées. Les dunes règnent également du côté de la circonscription du Kanem, c'est-à-dire au Nord-Est, où se prolonge un dédale de canaux remplis d'eau croupissante, appelés « bahre ». Ce sont, d'ailleurs, les eaux du lac qui alimentent la nappe d'eau souterraine où plongent les puits du Kanem. Dans le Sud-Ouest (Nigeria)

(1) Composition de la Commission : M. Charles Lallemand, Président ; MM. le Général Bourgeois, Fichot, Maurain, le Général Belot, Vignal ; Rapporteur, M. Cot.

(2) Les données géographiques contenues dans ce rapport ont été extraites des ouvrages de M. Jean Tilho (actuellement général et membre de l'Institut) : *Du lac Tchad aux montagnes du Tibesti. Devons-nous sauver le Tchad ?*

(3) A titre de comparaison, nous mentionnerons que la superficie de la Corse est de 8.721 kilomètres carrés.

les rives sont généralement marécageuses. On y trouve, à Seyorom-Daga, un point de débarquement où passe obligatoirement le trafic lacustre entre le Bornou, le Kanem et les îlots où paissent les bœufs des Boudoumas.

Le lac est alimenté par les pluies locales et par les eaux de ses trois affluents : le Chari, la Komadougou-Yoobe et le Yedseram. Les pluies déversent à peu près 24% du total des apports liquides. La Komadougou-Yoobe et le Yedseram n'en fournissent pas plus de 1%, le reste, qui constitue les trois-quarts de la crue annuelle du lac, est dû aux flots du Chari, grossi du Logone.

Le Logone, qui prend naissance à la limite Nord-Est du massif du Cameroun, a un cours d'environ 1.000 kilomètres de longueur. Sur les 500 derniers kilomètres, son lit n'a qu'une faible pente. Il se ramifie dans son cours inférieur en plusieurs bras, dont quelques-uns aboutissent directement au Tchad ; mais le bras principal, de beaucoup plus important, se jette dans le Chari à Fort-Lamy, point situé à 100 kilomètres dans le Sud-Est de la pointe Sud du lac. Les apports liquides du Logone peuvent être évalués au tiers de ceux du Chari.

Le Chari est un fleuve de plus de 1.500 kilomètres de développement, qui draîne les eaux provenant de la région séparant le massif du Cameroun de celui du Darfour. Comme le Logone, il ne présente qu'une faible pente sur un parcours de 1.000 kilomètres en plaine. Pendant la saison sèche, il n'occupe qu'une partie restreinte de son lit. Au moment des hautes eaux, les deux fleuves, reliés d'ailleurs en amont par les multiples canaux du Ba-Ille, provoquent à Fort-Lamy, où ils se réunissent, une crue qui atteint 7 à 8 mètres de hauteur pendant plus d'un mois.

Les plaines qui s'étendent au sud de Fort-Lamy entre le Chari et le Logone occupent une étendue de 20 millions d'hectares (200.000 kilomètres carrés) régulièrement inondés pendant la saison des pluies.

Cette « Mésopotamie Tchadienne », relativement peuplée, a un développement agricole important.

La situation de nos possessions au voisinage sud du Tchad est donc pleine de promesses pour l'avenir, si le régime actuel des eaux s'y maintient sans modifications importantes. Or, de telles modifications ne manqueraient pas de se produire si le Logone était détourné de son parcours et venait à déverser ses eaux dans un tributaire de la Bénoué par un phénomène de capture, dont l'éventualité a été envisagée par M. Jean Tilho dans les termes suivants :

« Le plus grand danger qui menace l'existence « du Tchad — moins comme lac ou marécage que « comme fertilisateur et, si j'ose dire, animateur « des riches plaines qui l'entourent — ne réside « pas dans les conditions climatologiques locales, « tantôt favorables, tantôt contraires à l'extension « de sa nappe liquide, mais dans la diminution « progressive des apports annuels du Chari, parmi « lesquels ceux du Logone entrent pour 35 à 40%. Le « danger, qui était simplement latent au début de ce « siècle, est devenu pressant depuis l'année 1911, où « l'Administration locale a fait creuser un canal « permettant aux eaux du Logone de se détourner « partiellement du Tchad pour aller grossir les « apports du Niger à l'Atlantique ».

C'est aux environs de Ham et de Eré que semblent réunies les conditions propices à une évasion éventuelle des eaux du Logone vers l'Ouest, où elles iraient suivre successivement : le cours inférieur de la Kabia et l'étang de Tikem, les marais de Toubouri et leur exutoire : la Mayo-pe, qui coule vers l'Ouest et qui, après avoir franchi la chute Gauthiot, tombe dans la Mayo-Kabi, tributaire de la Bénoué, elle-même affluent du Niger (voir Fig. F).

C'est au voisinage de Ham que fut amorcé en 1911 un canal provisoire se dirigeant à l'Ouest-Sud-Ouest, vers Pogo, et destiné à permettre le transport par pirogues des caisses de ravitaillement des troupes d'occupation du territoire du Tchad. Ce canal, qui a été utilisé à cet effet en 1911, n'a pas été entretenu et s'est comblé sur une grande partie de son parcours.

Eré est situé au confluent de la Tandjillé et du Logone. Ce dernier, qui vient de l'Est-Sud-Est, y présente une déviation très nette vers le Nord. Un bras mort et une grande île y constituent des conditions favorables à un engorgement et à un déplacement du lit. Une dépression orientée vers l'Ouest-Nord-Ouest s'étend entre Eré et Pogo, où aboutit un petit affluent de la Kabia. En saison des pluies, cette dépression est inondée et met en communication le Logone et la Kabia, qui communique elle-même avec la zone marécageuse du Toubouri. Ces circonstances offrent une analogie frappante avec la situation qui régnait, au début de 1903, à Andranolava (Madagascar) où, à la suite de crues très fortes, la Mahajamba se détourna brusquement de son cours pour aller se déverser par la dépression d'Ambalia, dans le Kamoro, affluent de la Betsi-Boka. (Voir extrait du *Journal officiel* de Madagascar du 20 juin 1903. et extraits du *Bulletin de l'Académie Malgache* de 1930.)

Indépendamment des considérations fondées sur les phénomènes d'érosion régressive qui paraissent, dans le cas envisagé, ne devoir être retenus qu'à titre d'indication générale sur l'évolution régulière (mais probablement assez lente) du mécanisme de la capture déjà amorcée, on doit reconnaître qu'il y a possibilité d'un danger prochain de détournement de l'un des deux principaux cours d'eau qui alimentent le lac Tchad, le phénomène accidentel à redouter devant se produire sous la forme d'une invasion de la région de Toubouri par les eaux du Logone, à la suite d'une rupture de la rive gauche de ce fleuve dans l'un de ses méandres, sous l'action d'une crue exceptionnelle concordant avec un engorgement partiel du lit.

La capture d'un fleuve rentre dans la catégorie des phénomènes naturels importants dont l'étude scientifique n'a été jusqu'ici que sommairement poursuivie. L'éventualité, dans un délai rapproché, de modifications hydrographiques de cette nature n'a rien d'exceptionnelle. Trois exemples de capture en cours ont été signalés en 1931 au Congrès international de Géographie de Paris ; l'un pour le Da Nhim, branche supérieure gauche du Donnai, lequel reçoit les eaux de la rivière de Saigon, les deux autres pour les rivières Bouenza et Djouéké, à la limite des bassins du Congo et du Niari.

Il y aurait un grand intérêt à suivre dans ses détails le développement d'un phénomène de ce genre. Le caractère scientifique d'une telle entreprise, dans la région Sud-Tchadienne, ne s'opposerait en aucune façon, à l'exécution simultanée d'une étude relative aux travaux relevant de l'art de l'ingénieur et propre à assurer la conservation, au bénéfice du Tchad, des eaux du Logone.

Ces recherches sur l'évolution de la capture du Logone seraient facilitées par les observations antérieures du Général Tilho et pourraient vraisemblablement être menées à bien sans grandes difficultés.

Elles nécessiteraient en premier lieu le levé topographique de la région Eré-Bangor-Fianga-Extrémité est du Toubouri (où nous ne possédons qu'un croquis à l'échelle du millionième) (Fig. F), accompagné d'opérations de nivellement précis qui devraient se prolonger dans l'Ouest jusqu'à la chute Gauthiot.

Nous émettons le vœu que cette étude, d'une incontestable utilité, soit amorcée dès que les circonstances le permettront — et nous proposons au Bureau d'attirer sur ce sujet l'attention de l'Académie des Sciences et du Ministère des Colonies.

Les communications Bénoué-Logone

A l'heure actuelle il existe déjà deux communications naturelles distinctes entre les bassins du Logone et celui de la Bénoué. Il peut y avoir intérêt à donner à leur sujet quelques indications permettant de préciser le très intéressant rapport ci-dessus.

La communication septentrionale

La communication septentrionale se trouve au Cameroun. C'est elle qui a été étudiée autrefois par le Capitaine Lenfant. Elle a fait récemment l'objet d'une étude documentée de M. Haugou, Chef du Service Géologique du Cameroun. Nous en extrayons les renseignements généraux suivants :

« Entre le Logone et le lac de Fianga, il existe un très grand nombre de vallées ou de creux. Les uns sont des bras du Logone, les autres, situés plus loin dans l'intérieur, comme le Donaï, peuvent être en liaison avec le Logone, mais ne sont alors parcourus par aucun courant.

Pendant l'hivernage, les eaux du Mayo-Kébi (ou Kabia) et du Logone montent, en même temps que les creux se remplissent d'eau par les pluies ou les infiltrations. Pour les années moyennes, les eaux du Logone atteignent Kalfou par le Donaï et les environs de Dana par une dépression secondaire. De leur côté, les eaux du Mayo-Kebi remplissent le lac de Fianga et s'étendent jusqu'à Mori. Toutefois la communication ne s'établit pas.

Ce n'est que dans les eaux de fortes crues que les eaux du Logone et celles du Mayo-Kébi, ayant surtout progressé par infiltration — car il n'y aurait aucun courant — se réunissent en submergeant le seuil, d'ailleurs peu important, existant entre Dana et Mori.

C'est ce qui s'est passé notamment en 1931, où la liaison par pirogue entre Yagoua, Bongor et Fianga a pu être effectuée. La profondeur de l'eau au-dessus du seuil n'était alors que d'une trentaine

de centimètres, et les pirogues chargées ne purent passer que pendant quelques jours seulement (du 1er au 15 octobre au plus tard).

Ce phénomène ne se produit pas annuellement. Avant 1931, on ne l'avait observé qu'en 1924, et il est certain que le passage n'aurait pas été possible pour les embarcations du Capitaine Lenfant, en 1903, si cette année-là n'avait pas été marquée par une crue exceptionnelle. »

Les risques d'une capture imminente, de ce côté, apparaissent assez minimes.

La communication méridionale

Les conditions sont assez différentes sur le territoire de l'Afrique Equatoriale Française, où se trouve la seconde communication.

Celle-ci est réalisée par le débordement du Logone, aux environs d'Eré et à l'envahissement, par ses eaux, des terrains situés sur la rive gauche, et cela jusqu'au lit d'un sous-affluent de la Kabia, qui ne se trouve d'ailleurs qu'à quelques kilomètres du Logone.

D'après les renseignements personnels qui me sont parvenus, le mécanisme général de la communication serait le suivant :

La montée des eaux, sous l'influence des précipitations locales, se produirait d'une façon continue depuis mai-juin jusqu'à la fin de septembre. A partir du 1er octobre, les eaux baisseraient dans le bassin de la Bénoué. Le Logone, au contraire, continuerait à monter, du fait du développement de la crue dont l'origine se trouve dans les régions méridionales.

Vers le 10 octobre, les eaux du Logone, qui n'ont cessé de monter à Eré, atteignent environ 4 mètres en ce point. Elles submergent alors la berge occidentale à Eré et, empruntant d'abord de multiples bras au voisinage immédiat du Logone, elles s'épanouissent peu à peu au milieu des terres de la rive gauche (1). Il semble qu'ici elles ne soient arrêtées par aucun seuil appréciable comme au Cameroun entre Dana et Domo ; aussi ne tardent-elles pas à atteindre le lit d'un sous-affluent de la Kabia, dont la position est portée d'une façon assez hypothétique sur les cartes, mais qui semble n'être qu'à 3 ou 4 kilomètres du Logone. A partir de ce sous-affluent de la Kabia, la pente, incertaine jusqu'alors, mais en tout cas très faible, est évidemment dirigée vers la Bénoué.

(1) Il est probable aussi que les eaux se propagent plus ou moins par infiltration dans les terres de la rive gauche.

Contrairement à la communication du Nord — par Dana et Domo — celle d'Eré se produit chaque année, et on l'observerait au moins pendant les 20 derniers jours du mois d'octobre, c'est-à-dire jusqu'au moment où les eaux du Logone commencent à baisser.

Il est estimé que tout le long de la communication, et pendant tout le temps que dure celle-ci, la hauteur d'eau est de l'ordre de 50 centimètres. Alors les embarcations (pirogues, baleinières) peuvent facilement passer d'un bassin à l'autre. L'Administration utiliserait d'ailleurs régulièrement cette communication pour effectuer ses transports (tournées d'inspection, convois de bois de chauffage).

Du fait de cette communication, la Kabia aurait deux crues successives. Au début d'octobre, ses eaux baisseraient progressivement, et la baisse se manifesterait pendant 15 à 20 jours dans la moyenne et la basse Kabia. Au contraire, à partir du milieu d'octobre, les eaux de la haute Kabia remonteraient, grâce aux apports du Logone. On assisterait ainsi à ce spectacle assez particulier d'une baisse des eaux du lac de Léré, en même temps qu'une hausse dans le lac de Fianga.

Cette seconde communication est beaucoup plus sérieuse, relativement aux risques de capture, que celle du nord (Dana-Damo). Il semble toutefois que, même si la capture se produisait, tout espoir ne serait pas perdu de ramener le Logone dans son lit : la période des basses eaux, qui dure plusieurs mois, pourrait en effet être mise à profit pour réaliser d'importants travaux.

Conclusions

Il peut être intéressant de résumer ici les arguments susceptibles d'être invoqués pour ou contre la capture à brève échéance du Logone par la Bénoué.

Contre l'imminence possible de la capture :

1° Faible pente depuis la chute Gauthiot jusqu'au Logone, surtout depuis M'Bourao (lacs, marais), d'où érosion remontante faible ;

2° Stabilité au moins relative, au sommet de la chute Gauthiot, assurant le maintien du niveau de base actuel pendant une longue période ;

3° Obstruction, par les apports du Logone, du canal artificiel de Ham, établi en 1911 ;

4° Alluvionnement du Logone sur sa rive gauche, signalé par plusieurs auteurs.

En faveur de la capture possible à brève échéance :

1° Relèvement du fond du Tchad, du fait de

l'alluvionnement, ce qui entraîne une élévation progressive du niveau de base du Logone ;

2° Ensablement du Logone, favorisant une déviation ultérieure ;

3° Capture précédente du Mayo-Rebi, affluent du Logone, par la Bénoué ;

4° Existence de deux communications, dont l'une se reproduit chaque année ;

5° Présomption de l'existence d'une pente le long de cette seconde communication, cette présomption étant basée sur la facilité d'évacuation des eaux du Logone vers la Kabia ;

6° Erosion inévitable le long de la communication méridionale, cette érosion ne pouvant que faciliter la capture.

Il est indéniable que les arguments *a priori* en faveur d'une capture prochaine sont plus forts que ceux contre la capture. Ainsi se trouveraient justifiées les préoccupations du Bureau des Longitudes, et celles exprimées plus récemment, par l'Académie des Sciences Coloniales. Il est juste de dire ici que, prévenant les désirs exprimés par ces deux institutions, le Département des colonies a prescrit une étude préliminaire très complète de la question (1).

H. H.

(1) Il existe en Afrique un certain nombre de points où des captures à plus ou moins brève échéance sont possibles. Il existe même des points où des communications existent déjà, comme à Diamatou, entre la Koulountou et le Rio Grande (Guinée Française). Il faudrait que toutes les régions de capture possibles fussent étudiées en détail. C'est une question qui pourra faire ultérieurement l'objet d'un nouvel article.

La Répartition de la pluie entre le Sahara soudanais et l'Ile de la Réunion

Il a été question, à plusieurs reprises, d'établir une ligne postale aérienne entre la France, Madagascar et la Réunion par l'Algérie, l'A. O. F., l'A. E. F., le Congo belge, la Rhodésia et la colonie de Mozambique. Plusieurs raids ont déjà été entrepris le long de cette ligne, d'autres seront sans doute effectués sous peu. Les lignes belges assurent un trafic régulier au Congo ; deux autres services réguliers français fonctionnent actuellement, l'un entre Alger et Brazzaville, l'autre entre Tananarive et Broken Hill, si bien que l'utilisation de la totalité de la ligne pourrait être réalisée dans un temps très proche. Il peut, par suite, n'être pas inopportun de donner ici quelques indications sur les caractères du temps, si varié, qu'on rencontre toujours, en toutes saisons, sur la partie de cette ligne se développant vers le Sud à partir de la limite commune à l'Algérie et à l'Afrique Occidentale française (1).

Le fait qu'on passe d'un hémisphère à l'autre implique qu'on traverse toujours une zone de mauvais temps. Cela ne veut pas dire que les aviateurs seront toujours en butte à des difficultés météorologiques, car il peut y avoir des éclaircies, mais cela signifie que dans une partie au moins du parcours la probabilité de mauvais temps sera toujours forte.

Il est utile de pouvoir se faire une idée de l'ordre de grandeur de cette probabilité. Or, on peut considérer celle-ci comme correspondant à celle du nombre des jours de pluie pour les régions considérées.

Ce nombre, par mois, se trouve indiqué dans le tableau H du présent numéro. Les stations qui y figurent sont réparties le long de l'itinéraire actuellement le mieux équipé pour l'aviation, entre Tessalit (Soudan français), point à partir duquel recommencent les pluies mesurables après la traversée du Sahara algérien, et Saint-Denis (Réunion).

La situation de ces stations est approximativement la suivante :

Tessalit.....	(1°4' long. E. Gr., 20°13' lat. N.)
Gao.....	(0°8' long. E. Gr., 16°16' lat. N.)
Niamey.....	(2°7' long. E. Gr., 13°30' lat. N.)
Zinder.....	(8°59' long. E. Gr., 13°48' lat. N.)
Fort-Lamy.....	(15°2' long. E. Gr., 12°7' lat. N.)
Fort-Archambault.	(18°34' long. E. Gr., 12°15' lat. N.)

(1) Cette note a été rédigée en tenant compte des observations des services météorologiques de l'A. O. F., de l'A. E. F., de Madagascar, de la Réunion, de Mozambique, de la Rhodésia et du Congo belge. Je dois ces derniers à l'obligeance de M. P. Gasthuys, Ingénieur-agronome, à qui je suis heureux de pouvoir exprimer ici mes bien vifs remerciements.

Bangui	(18°35' long. E. Gr.,	4°22' lat. N.)
Eala	(18°20' long. E. Gr.,	0°8' lat. N.)
Nioki	(17°0' long. E. Gr.,	2°46' lat. S.)
Sanguai	(20°40' long. E. Gr.,	6°0' lat. S.)
Lovoï	(25°0' long. E. Gr.,	8°40' lat. S.)
Elizabethville	(27°34' long. E. Gr.,	11°38' lat. S.)
Broken Hill	(28°24' long. E. Gr.,	11°24' lat. S.
Tète	(33°27' long. E. Gr.,	16°12' lat. S.)
Quelimane	(36°53' long. E. Gr.,	17°53' lat. S.)
Mossuril	(40°40' long. E. Gr.,	14°57' lat. S.)
Majunga	(46°18' long. E. Gr.,	15°43' lat. S.)
Tananarive	(46°33' long. E. Gr.,	18°55' lat. S.)
Tamatave	(49°26' long. E. Gr.,	18°8' lat. S.)
Saint-Denis	(55°27' long. E. Gr.,	20°51' lat. S.)

La distance qui sépare ces points les uns des autres est presque toujours supérieure à 300 kilomètres et inférieure à 500. On est ainsi fondé à considérer qu'entre deux localités voisines, les variations dans la proportion du nombre de jours de pluie par mois ne comporte pas d'autres modifications que celles résultant d'une simple interpolation.

Les proportions de jours sont données d'une façon assez grossière : 0, 1 à 5, et multiples de 5. Une plus grande précision serait illusoire. Il ne s'agit d'ailleurs que de donner une impression d'ensemble permettant d'évaluer à vue les chances de réussite d'un voyage pour une saison ou un mois déterminés.

Si le tableau établi montre dans certaines de ses parties des oppositions marquées, cela tient à la répartition géographique des localités-types dans des zones de pluviosité très différente et aux sinuosités de la ligne d'aviation, qui peut traverser une même zone pluviométrique deux fois de suite, mais en sens différent.

On voit que les deux mois les plus favorables pour effectuer la totalité du voyage sont mai et juin, le second de ces mois surtout. Malgré les apparences, mai est sans doute à peu près aussi avantageux, parce qu'alors la traversée de la colonie de l'Oubangui-Chari est moins dure.

Ces deux mois sont favorables parce qu'ils correspondent à la fin de la saison des pluies dans le sud et au début de l'hivernage dans le nord.

Des conditions analogues, bien qu'inversées, devraient se retrouver en octobre-novembre, mais elles ne se produisent pas, parce qu'alors la traversée du Congo belge est déjà devenue pénible.

La saison la plus défavorable est l'hiver, à cause de la très grosse proportion de mauvais temps au sud de l'équateur.

A la partie inférieure du tableau, on a fait figurer la proportion du nombre total de jours de pluie pour chaque mois sur l'ensemble du parcours. Les chiffres donnés ont pour but de permettre une comparaison rapide d'un mois à l'autre. Mais, en consultant ces chiffres, qui paraissent faibles, le lecteur fera bien de se rappeler qu'ils ne donnent pas une idée suffisamment exacte des difficultés du parcours, parce que, pour chaque mois, il y a des chances de beau temps sur un tiers de la route ; la totalité du mauvais temps est donc en fait répartie sur les deux autres tiers.

H. H.

NOTES ET INFORMATIONS

Le *IVe Congrès international de Photogrammétrie* s'est tenu, au Grand Palais, du 26 novembre au 2 décembre, sous la présidence de M. le général Perrier, membre de l'Institut.

Ce Congrès a donné lieu à de nombreuses et très importantes communications sur des sujets de Géodésie et de Topographie, disciplines très voisines de la Physique du Globe.

La participation des colonies françaises à l'Exposition Internationale qui accompagnait ce Congrès s'est révélée très intéressante.

Parmi les sujets touchant directement la Physique du Globe, on a pu voir, à cette Exposition, des restitutions de nuages dans l'espace exécutées par les procédés photogrammétriques.

On sait que ces procédés permettent également une restitution très exacte de la houle.

La *mise en service d'une nouvelle ligne d'aviation*, reliant Colomb-Béchar (Algérie) à Cotonou (Dahomey), à été réalisée, en novembre dernier, par la Compagnie Transsaharienne.

L'*Etablissement Central du Service Météorologique de l'Afrique Equatoriale Française*, installé à l'origine à Bangui, a été transféré à Brazzaville.

La Commission française pour l'étude des calamités s'est réunie le 7 mai 1934, au Ministère de l'Education Nationale, sous la présidence de M. Rothé, doyen de la Faculté des Sciences de Strasbourg, Président.

Après un exposé très complet de M. le Directeur de l'Ecole Nationale des Ponts-et-Chaussées sur les crues de la Seine à Paris, la Commission a examiné les réponses faites à des questionnaires adressés en vue de connaître les études poursuivies en France et aux colonies relativement aux inondations. Pour la France, la question sera prochainement mise au point par un travail de M. Pardé. Pour les colonies françaises, la question est moins avancée. Un examen d'ensemble a permis de faire connaître : 1° les régions où les inondations étaient susceptibles de prendre un caractère catastrophique ; 2° l'évolution des phénomènes qui accompagnaient les inondations ; 3° les mesures de protection déjà prises.

L'*Académie des Sciences* a décerné au général Tilho, membre de l'Institut, le prix Albert de Monaco pour ses importants travaux sur la capture éventuelle du Logone par la Bénoué. Il entrerait dans les intentions du général Tilho de consacrer le montant de ce prix à des recherches effectuées sur place.

Un *concours* pour l'admission de 4 ingénieurs-météorologistes stagiaires aura lieu au Ministère des Colonies, le 5 février 1935.

Le *Service Météorologique de Madagascar* établit une nouvelle station de sondages à Maintirano, sur la côte Ouest. Les travaux de cette station serviront principalement à la protection météorologique de la ligne Tananarive-Broken Hill.

Le *Service Météorologique de l'Afrique Occidentale française* a eu l'heureuse idée d'établir périodiquement des cartes d'ensemble faisant ressortir les excédents et les déficits de pluie, par semaine, ou par quinzaine. Ces cartes montrent des groupements fort intéressants, dont la connaissance est susceptible d'applications pratiques locales.

Des *enregistrements de la marée au Togo* ont fait ressortir, pour certains jours, l'existence d'ondes irrégulières, venant se superposer à l'onde de la marée. La confrontation des marégrammes et de séismogrammes enregistrés à Lomé a permis à M. Caron, ingénieur-météorologiste, de constater que les ondes irrégulières de la marée correspondent à des séismes sous-marins peu éloignés. Des études, actuellement en cours, permettront d'élucider les problèmes posés par ces constatations.

BIBLIOGRAPHIE

HUBERT (H.). — **Sur l'extension de l'harmattan** (*Procès-verbaux des séances de la Section de Météorologie*, IVe Assemblée de l'Union géodésique et géophysique internationale, Stockolm, août 1930. Second fascicule. P. 149). Paris, 1933.

L'harmattan est un courant aérien, c'est-à-dire une puissante masse d'air dont l'ensemble des éléments garde la même composante horizontale pendant des périodes très étendues et sur des distances très grandes. Il se manifeste au-dessus de l'Afrique Occidentale Française pendant toute l'année, sans interruption. Il ne se distingue pas seulement par sa direction des courants aériens contigus (sur le plan horizontal ou vertical), mais encore par sa température au voisinage des limites communes.

En 1927, à Prague, il avait été indiqué que l'harmattan s'étendait en longitude au moins depuis le cap Vert jusqu'au lac Tchad. Cette dernière limite a pu être reculée dans l'est jusqu'en Abyssinie, puis jusqu'à la mer Rouge ; elle pourrait même, peut-être, l'être jusqu'en Afganistan.

Dans l'Ouest, l'harmattan dépasse les îles du cap Vert et s'étend peut-être jusqu'aux Antilles.

En latitude, sa limite atteint le 23-24e parallèle nord et dépasse, vers le sud, le 2° sud.

***

HUBERT (H.). — **Sur l'allure des surfaces de discontinuité dans le cas de fronts froids en Afrique Occidentale Française** (*Procès-verbaux des séances de la Section de Météorologie*, IVe Assemblée de l'Union géodésique et géophysique internationale, Stockholm, août 1930. Second fascicule, p. 152). Paris, 1933.

Les principales perturbations de l'Afrique Occidentale Française sont des grains. Leur passage caractérise d'une façon très nette ce qu'on est convenu d'appeler des fronts froids.

Les multiples observations faites ne s'accordent pas avec les théories se rapportant aux fronts froids dans les pays tempérés : 1° le courant froid, correspondant à ce qu'on est convenu d'appeler « air polaire » est, à l'origine, *en altitude et non au sol* ; 2° la surface de discontinuité est grossièrement parallèle à celle du frond chaud, au lieu de lui être symétrique par rapport à un plan vertical.

L'inclinaison de la surface de discontinuité du front froid sur l'horizon peut atteindre et même dépasser 6%.

***

AUBERT DE LA RÜE (E.). — **Nouvelles observations sur la Météorologie des îles Kerguelen** (Rev. de *Géogr. physique et de géologie dynamique* 1931. Vol. 4, fasc. 2, p. 165 et suiv.).

La pression atmosphérique est toujours faible.

La température moyenne (1929) reste voisine de 0-1° de juin à septembre. Elle est voisine de 6°5 en janvier-février.

Les écarts journaliers peuvent dépasser 10°. Les écarts mensuels de l'ordre de 15° sont fréquents. Les extrêmes observés sont de + 20° et — 10°. La température moyenne annuelle est voisine de + 3°.

L'état hygrométrique est élevé. Les moyennes mensuelles sont comprises entre 70 et 80.

Il y a 300 jours de précipitations par an, avec une hauteur d'eau de l'ordre de 850 mm. dans le Golfe du Morbihan.

La nébulosité est toujours élevée (7 à 8).

Les dépressions se succèdent au nombre de 10 à 15 par mois. Elles suivent une trajectoire E.W. à une vitesse de 25 à 40 kilomètres à l'heure et évoluent généralement en vingt-quatre heures.

Les vents sont toujours très forts. Ceux du N.W. sont plus continus et plus réguliers. Ceux du S.W. se font sentir par rafales d'une violence inouïe, avec des vitesses atteignant 150 kilomètres à l'heure.

Les tempêtes et le mauvais temps sont de règle aux Kerguelen. Les orages y sont inconnus.

La température de la mer varie de 1° à 6°.

***

AUBERT DE LA RÜE (E.). — **La pêche aux îles Saint-Paul et Amsterdam** (Revue des travaux de l'Office *des Pêches maritimes*, t. V, fasc. I. N° 17, pp. 83-109).

Ce mémoire contient, accessoirement, quelques renseignements sur le climat de ces îles, très comparable à celui du littoral de Bretagne. La température annuelle à Saint-Paul est de + 12° et celle de la Nouvelle Amsterdam de + 13°. Les extrêmes observés sont + 3° et + 28°. Ces chiffres sont exceptionnels : le thermomètre oscille entre + 5° et + 12° de juin à septembre, et de + 10° à 25° + pendant le reste de l'année.

Il pleut 300 jours par an et, souvent, les pluies sont d'une extrême violence. La neige tombe sur les parties élevées de la Nouvelle-Amsterdam (point culminant, 911 mètres).

L'humidité est considérable et la brume très fréquente.

Le vent souffle d'une façon continue avec une direction variant du N.W. au S.W. Il peut atteindre une force inouïe lors des tempêtes.

La température de la mer, pendant la saison chaude, oscille entre 12° et 14°.

***

BOIS (Charles). — I. **Recherches sur les séismographes destinés à l'inscription de la composante verticale du mouvement du sol.**

II. **Sur les phases des séismes très éloignés** (10.000 km. et au-delà). Thèses présentées à la Faculté des Sciences de Strasbourg. Un vol. de 155 p. et 45 fig. Toulouse, 1933.

I. L'étude complète des tremblements de terre nécessite non seulement l'inscription des composantes horizontales, mais aussi celle de la composante verticale.

Pour cette dernière, les appareils les plus récents sont soit des séismographes légers à inscription galvanométrique, soit des instruments utilisant de très lourdes masses, et effectuant mécaniquement l'inscription.

Les conditions d'installation de ces derniers appareils, les dispositifs permettant de porter la période de 0 s. 2 à 1 seconde, l'influence des variations de température sur le fonctionnement des appareils, les méthodes de compensation employées : tels sont les principaux examinés dans cette première thèse. Ils fourniront des indications précieuses pour toutes les stations séismologiques enregistrant la composante verticale.

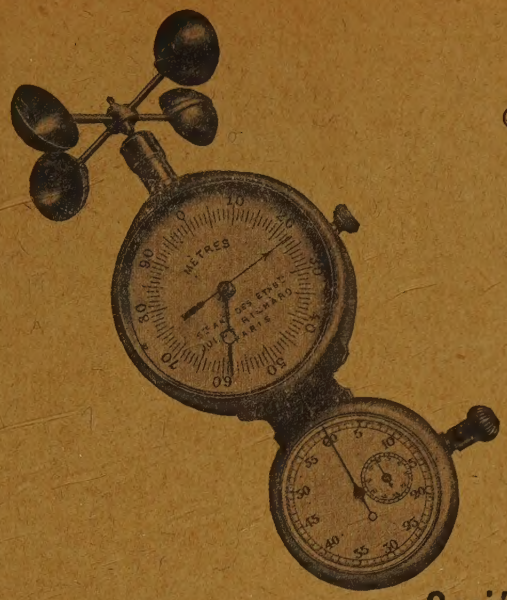
II. Si l'étude des tremblements de terre est le seul moyen de se faire une idée de la constitution interne du globe, les observations sont d'autant plus utiles que les séismes enregistrés sont plus lointains.

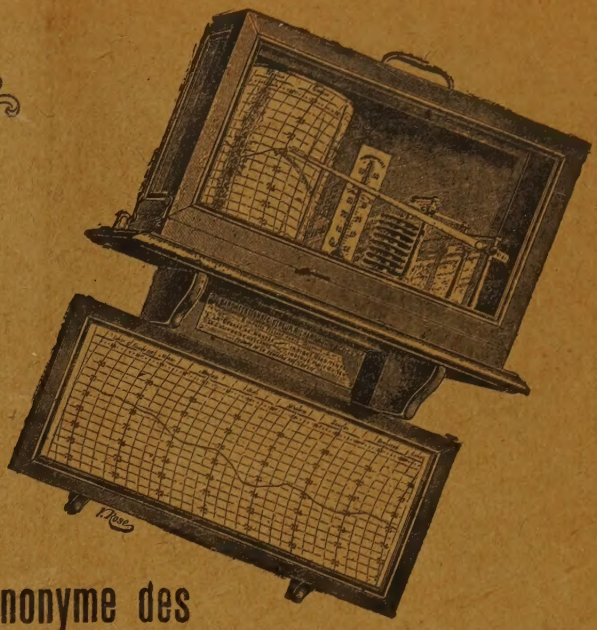
Mais les inscriptions qu'ils donnent sont fort complexes. Aux ondes longitudinales, transversales et superficielles des séismes proches s'ajoutent des ondes réfléchies à la surface du globe et des ondes réfléchies sur le noyaux ou réfractées par celui-ci. A la suite de ces réflexions ou réfractions, les ondes peuvent, en outre, changer de nature, ce qui détermine des combinaisons très compliquées.

L'auteur étudie dans le détail l'inscription de ces différents types d'ondes et montre l'utilisation qu'on peut en faire. Il signale, enfin, que les absorptions dues au noyau central amènent à considérer que celui-ci est à l'état pâteux.

L'Éditeur-Gérant : R. PINARDON.

Rochefort-sur-mer. — Imprimerie A. Thoyon-Thèze, 121-123, rue Pierre-Loti. — 1934





Société Anonyme des

Etablissements Jules RICHARD

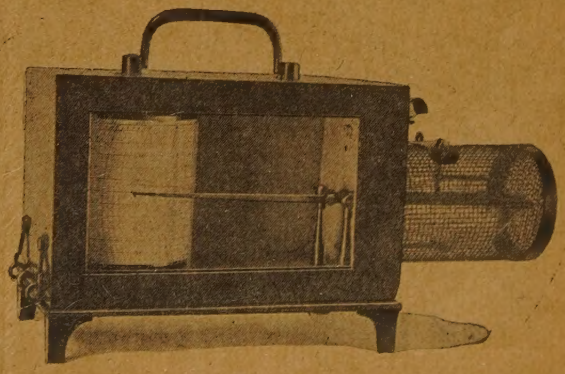
25, Rue Mélingue, PARIS (14e)

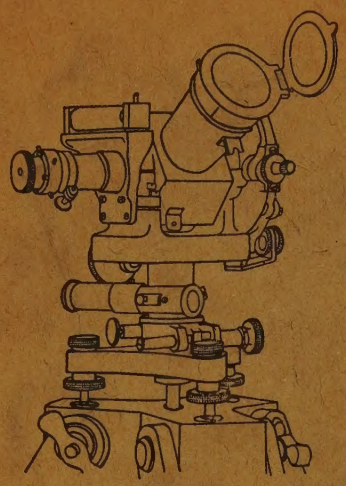
Tél. : Botzaris 88-80 — Tél. : Botzaris 88-80

INSTRUMENTS DE PRÉCISION

de Mesure et de Contrôle

pour les Sciences et l'Industrie





A. BERTHELEMY ⊙ - LORIEUX ✻ - P. PONTHUS ✻

Etabts Albert LEPETIT & Cie

Société en commandite simple. Capital 1.000.000 de francs

Constructeurs

6, Rue Victor Considérant, PARIS (14e)

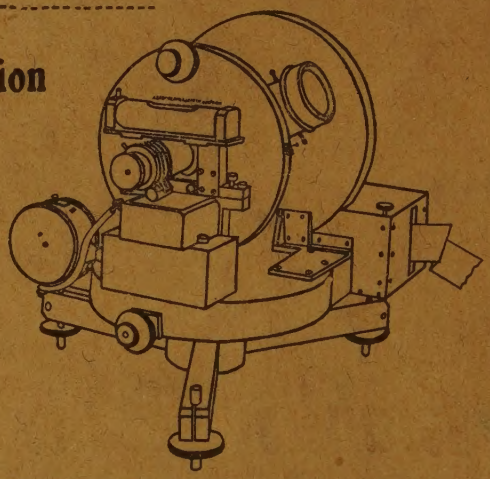
Tél. Danton 58-18 — Ad. tél. Ponrode Paris 14

Fournisseurs des Ministères des Colonies, de la Marine, du Service Géographique de l'Armée.

Instruments de Précision

pour

— la Topographie, la Marine —
l'Aviation, la Météorologie, etc...



THÉODOLITES SIMPLES ET ENREGISTREURS
POUR LE REPÉRAGE DES BALLONS-SONDES

Catalogues franco sur demande

Rég. Comm. Seine 229-81 7B

ROSENMULLER
DRESDEN

ANÉMOMÈTRES
POUR TOUTES VITESSES
(à partir de 0,02 m/sec.)

GIROUETTES

TUBES DE PITOT

MICROMANOMÈTRES

LAMBRECHT
GÖTTINGEN

HYGROMÈTRES

PSYCHROMÈTRES

BAROMÈTRES

PLUVIOMÈTRES

EVAPOROMÈTRES

HÉLIOMÈTRES

A. OTT
KEMPTEN

PLANIMÈTRES
INTÉGRAPHES
ANALYSEUR-HARMONIQUE

—

ENREGISTREUR
DE MARÉE ET DE HOULE

—

APPAREILS
POUR L'ÉTUDE
DES COURANTS D'EAU

J. BAROT

Représentant exclusif
pour la France et les Colonies

20, Rue de Varenne, PARIS (7e)

Catalogues franco sur demande

Rochefort-sur-mer. — Imprimerie A. Thoyon-Thèze. — 1934.